

Helsinki 11.6.2003

ETUOIKEUSTODISTUS
PRIORITY DOCUMENT

REC'D 23 JUN 2003

WIPO PCT



Hakija
Applicant

Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Espoo

Patenttihakemus nro
Patent application no

20020698

Tekemispäivä
Filing date

11.04.2002

Kansainvälinen luokka
International class

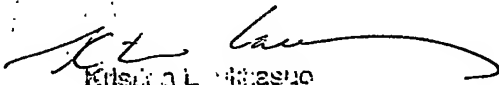
G02B

Keksinnön nimitys
Title of invention

"Integroidun optisen piirin valokanava ja menetelmä valokanavan valmistamiseksi"

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.


Kaisu L. Hietanen
Tarkastaja

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Maksu 50 €
Fee 50 EUR

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite: Arkadiankatu 6 A Puhelin: 09 6939 500 Telefax: 09 6939 5328
P.O.Box 1160 Telephone: + 358 9 6939 500 Telefax: + 358 9 6939 5328
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

BEST AVAILABLE COPY

L 1

Integroidun optisen piirin valokanava ja menetelmä valokanavan valmistamiseksi

5 Keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdanto-osan mukainen valokanava, joka on osa integroitua optista piiriä.

Keksinnön kohteena on myös patenttivaatimuksen 15 johdanto-osan mukainen valokanavaelementti optista valokanavaa varten.

Keksinnön kohteena on myös patenttivaatimuksen 21 johdanto-osan mukainen toinen valokanava.

10 Keksinnön kohteena on myös patenttivaatimuksen 25 johdanto-osan mukainen menetelmä integroidun optisen piirin valokanavan tai vastaavaan valokanavaelementin valmistamiseksi.

15 Integroitu optinen piiri muodostuu joukosta optisia piirielementtejä, laitteita ja/tai ulkoisia liitoksia, jotka on yhdistetty toisiinsa erottamattomasti valokanavin ja jotka on järjestetty yhteiselle alustalle. Esimerkiksi valonlähteet ja -ilmaisimet, tehonjakajat (eng. couplers, splitters), kytkimet (eng. switches), aallonpituusjakajat ja -yhdistäjät sekä kuituliitokset voivat olla piirielementtejä. Ne on valmistettu joko samalla tai eri menetelmällä kuin niitä yhdistävät valokanavat.

20 Valokanavalla (eng. optical waveguide) tarkoitetaan seuraavassa tasomaiselle alustalle, substraatille, järjestettyä kolmiulotteista rakennetta, joka siirtää valoa integroidussa piirissä yhdestä paikasta toiseen. Valokanavan suunta alustan tasossa voi olla vakio tai muuttua joko hitaasti kaartuen tai äkillisesti kääntyen. Valokanavan poikkileikkaus voi olla vakio tai muuttua joko hitaasti tai äkillisesti. Tällaisia erilaisia valokanavajaksoja on monesti useita peräkkäin. Alusta on perusmateriaaliltaan esimerkiksi piitä, yhdistepuolijohdetta tai lasia. Valokanavat voivat olla materiaaleiltaan esimerkiksi piitä, puolijohdeyhdisteitä, lasia tai orgaanista ainetta.

25 Valokanavalla on tietty kolmiulotteinen taitekerroinjakauma $n(x, y, z)$, joka yhdessä materiaalivaimennuksen kanssa määrittelee, miten tietyn aallonpituuden λ omaava valo kulkee valokanavassa ja millaiset sen etenemishäviöt ovat. Käytetty valon, yleisesti ottaen optisen säteilyn, aallonpituus λ ulottuu näkyvän valon alueelta lähi-infrapuna-alueelle.

30

Valokanavan poikkileikkausta tarkastellaan tasossa, joka on kohtisuorassa valon etenemissuuntaa, z-akselia tai -suuntaa, vastaan. Suoran valokanavan poikkileikkaus on vakio ja sen taitekerroinjakauma $n(x, y)$ on olennaisesti kaksiulotteinen. Poikkileikkauksen perusteella pystytään teoreettisesti laskemaan suorassa valokanavassa etenevien diskreettien muotojen (eng. propagating modes) lukumäärä, efektiiviset taitekertoimet ja poikittaiset kenttäjakaumat. Laskut tehdään tavallisesti numeerisesti, koska analyttistä ratkaisua ei yleensä ole saatavissa. Efektiivinen taitekerroin kuvaa muotoon kytkeytyneen valon etenemisnopeutta pitkin valokanavaa samoin kuin materiaalin taitekerroin kuvaa optisen tasoaallon etenemisnopeutta siinä. Muodot voidaan yleensä jakaa niiden polarisaation mukaan kahteen ryhmään, joiden eroavaisuus riippuu valokanavan epäsymmetriasta ja/tai materiaalien kahtaistaitavuudesta (eng. birefringence). Seuraavassa tarkastellaan kuvauksen yksinkertaistamiseksi vain ns. TE-tyyppisiä (eng. quasi transverse electric) muotoja, mutta kaikki periaatteet pätevät myös muille polarisaatiomuodoille, kuten TM-tyyppisille (eng. quasi transverse magnetic) muodoille.

Suoran valokanavan erikoistapaus on ns. tasoaaltojohde (eng. planar waveguide), jota ei ole mitenkään kuvioitu alustan pinnan suuntaisessa vaak- eli x-suunnassa. Tasoaaltojohteen taitekerroinjakauma $n(y)$ on olennaisesti yksiulotteinen ja se vastaa joko äärettömän leveää tai kapeaa suoraa valokanavaa. Tasoaaltojohteelle voidaan laskea etenevien diskreettien muotojen lukumäärä, efektiiviset taitekertoimet ja pystysuorat kenttäjakaumat samalla periaatteella, mutta yksinkertaisemmin, kuin äärellisen leveille valokanaville.

Muotojen eteneminen suorassa valokanavassa perustuu valon kokonaisuheijastumiseen valokanavan ydinalueen ja sitä ympäröivien alueiden välillä sekä vaak- että pystysuunnassa. Tämä edellyttää, että ydinalueen taitekerroin on sitä ympäröivien materiaalien taitekerrointa suurempi. Harjannevalokanavan tai vastaavan rakenteen kohdalla materiaalien taitekerroineroon tilalla voi jommassa kummassa suunnassa olla ns. efektiivinen taitekerroinero. Käytännössä etenemiseen vaikuttavat myös materiaalien ominaisvaimennukset ja valon siroaminen epäideaalisista materiaalarajapinnoista. Etenevien muotojen lisäksi suoralle valokanavalle voidaan laskea ääretön määrä ns. säteileviä muotoja (eng. radiation modes), joihin ei liity kokonaisuheijastusta ainakaan kaikilla ydinalueen reunoilla. Suoraan valokanavaan kytketty mieltävaltainen optinen kenttäjakauma voidaan esittää yksikäsitteisesti etenevien ja säteilevien muotojen kenttäjakaumien painotettuna summana. Säteileviin muotoihin kytkeytynyt teho säteilee vähitellen pois valokanavasta.

Muilla kuin suorilla valokanavilla ei yleensä ole sellaisia eteneviä muotoja, joiden

poikittainen tehojakauma pysyy muuttumattomana ja jotka eivät säteile jatkuvasti tehoa pois ydinalueelta. Vakiosäteisesti kaartuville valokanaville voidaan sylinterisymmetrian perusteella laskea kaarevasti eteneviä diskreettejä muotoja, mutta kaikkien kaartuvien valokanavien äärellisesti vaimenevat kenttäjakaumat säteilevät väkisin tehoa ulkokaarten suuntaan /ks. viitejulkaisut 1, 2/. Muidenkin kuin suorien valokanavien toiminta voidaan esittää muotojen avulla, mutta niille laskettavien muotojen lukumäärä ja efektiiviset taitekertoimet, muotojen kenttäjakaumat ja/tai eri muodoissa olevat osuudet valokanavan kokonaistehosta muuttuvat. Poikkileikkauksen muuttuessa tai valokanavan suunnan muuttuessa optista tehoa kytkeytyy yleensä muodosta toiseen. Etenemissuunnassa riittävän hitaasti muuttuvissa ns. adiabaattisissa valokanavarakenteissa tehoa ei kuitenkaan siirry muodosta toiseen, vaan teho pysyy samassa hitaasti kenttäjakaumaansa muuttavassa valokanavamuodossa.

Suoran valokanavan poikkileikkaus pyritään järjestämään sellaiseksi, että se sallii ainakin ns. perusmuodon (eng. fundamental mode), jonka muotoluku (eng. mode number) $m = 0$, edetä valokanavassa ja edullisimmin mahdollisimman pienin häviöin. Valokanavaa, jolla on vain yksi etenevä muoto ($m = 0$) kutsutaan yksimuotoiseksi (SM, eng. single-moded) valokanavaksi. Valokanavaa, jolla on enemmän kuin yksi etenevä muoto (muotoluvut $m = 0, 1, 2, \dots$) kutsutaan monimuotoiseksi (MM, eng. multi-moded) valokanavaksi. Monimuotoisuus ei välttämättä tarkoita, että tehoa siirtyy valokanavassa perusmuodosta korkeampiin muotoihin. Ulkoisesti tarkastellen yksimuotoinen valokanavayhteys voi muodostua esimerkiksi yksimuotoisista valokanavajaksoista ja niiden välissä olevista monimuotoisista, mutta adiabaattisista, valokanavajaksoista /viitejulkaisu 2/. Etenkin tietoliikennetekniikassa integroitujen optisten piirien täytyy yleensä toimia ulkoisesti tarkastellen yksimuotoisesti. Monimutkaisemmat integroidut optiset piirielementit (tehonjakajat yms.) muodostuvat yksimuotoisissakin järjestelmissä usein monimuotoisista valokanavarakenteista.

Ennestään tunnetaan suora valokanava 1; 4, joka on järjestetty tasomaiselle alustalle 2, kuten kuvioissa 1 ja 2 on havainnollisesti esitetty. Valokanavassa on ydinmateriaaliin kuvioitu ja valoa määrättyyn viivasuoraan suuntaan johtava uloke 1^1 ; 4^1 . Ulokkeen sivureunojen ei välttämättä tarvitse olla pystysuoria, vaan ne voivat olla myös esimerkiksi vinoja tai pyöristyneitä. Ulokkeen ja alustan välissä on vaihtoehtoisesti yksi tai useampia materiaalikerroksia. Ulokkeen päällä sekä sivuilla voi vastavasti olla yksi tai useampia päällysmateriaalikerroksia 3. Materiaalikerrokset voivat olla joko kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista ainetta. Valokanavan poikkileikkauksen taitekerroinjakauma on kuitenkin aina sellainen, että se mahdollistaa vähintään yhden etenevän muodon olemassaolon. Teoreettiseen valokanavarakenteeseen

luetaan, sekä vaaka- että pystysuunnassa, yleensä mukaan vain ne materiaalikerrokset ja -alueet, joihin vähintään yhden etenevän muodon optinen tehojakauma ulottuu. Samalla uloimpien materiaalikerrosten ja -alueiden oletetaan ulottuvan äärettömän kauas.

- 5 Eräässä tunnetussa valokanavassa 1, kuvio 1, ulokkeen 1¹ taitekerroin on sitä ympäröivien materiaalien taitekertoimia suurempi. Riippumatta sivureunojen muodosta tällaista valokanavaa kutsutaan seuraavassa suorakaidevalokanavaksi. Siinä valo yleensä kokonaisheijastuu uloketta rajaavilla vaaka- ja pystypinnoilla. Mikäli ulokkeen ylä- tai alapuolella on useampia materiaalikerroksia niin kokonaisheijastus voi
10 vaihtoehtoisesti tapahtua vasta jollakin ulommalla rajapinnalla.

- Toisessa tunnetussa valokanavassa 4, kuvio 2, uloke 4¹ on saumattomasti järjestetty samaa ydinmateriaalia olevan ohuen kuvioimattoman kerroksen eli kantaosan 4² päälle. Uloke 4¹ ja kantaosa 4² muodostavat tällöin harjannevalokanavan 4. Harjannevalokanavassa pystysuuntainen kokonaisheijastus tapahtuu vaakasuorilla materiaa-
15 alirajapinnoilla samalla periaatteella kuin suorakaidevalokanavassa. Vaakasuuntainen kokonaisheijastus perustuu kuitenkin ns. efektiiviseen taitekerroineroon /ks. viitejulkaisu 1/. Pystysuorien sivuseinien tapauksessa approksimatiivinen efektiivinen taitekerroinero saadaan vertailemalla ulokkeen kohdalla ja sen vieressä olevista pystysuorista yksiulotteisista taitekerroinjakaumista laskettuja efektiivisiä taitekerto-
20 mia. Tarkkaa valokanavan analyysiä varten joudutaan kuitenkin turvautumaan kaksiulotteisiin numeerisiin menetelmiin.

- Lähtökohtana eräässä tunnetussa menetelmässä, syövytysmenetelmässä, optiseen integroituun piiriin järjestettävän yhden tai useamman valokanavan valmistamiseksi on tasomainen alusta, jonka päälle on valmiiksi järjestetty aluksi kuvioimaton valokanavan ydinkerros sekä yksi tai useampia materiaalikerroksia. Päälimmäinen kerros, ns. resistikerros, kuvioidaan jollakin useista vaihtoehtoisista tunnetuista menetelmistä siten, että ns. prosessikuvio kuvautuu siihen resistimaskiksi. Tunnettuja resistikuviointimenetelmiä on esitelty alempana. Prosessikuviolla tarkoitetaan kaksiulotteista kuviota, joka määrää sen miltä alustan alueilta resisti poistetaan ja mille se
25 jätetään. Yksinkertaisimmillaan valoa ohjaava rakenne on suora valokanava, jossa prosessikuviona on vakiolevyinen viiva. Yleensä yksi prosessikuvio kuitenkin esittää kaikkia yhdelle alustalle prosessoitavia valokanavarakenteita. Syövytysvaiheessa alustan päällä olevaa rakennetta syövytetään jollakin useista vaihtoehtoisista tunnetuista menetelmistä siten, että kuvioitu resistimaski suojaa sen alla olevia materiaalikerroksen tai -kerrosten osia ja prosessikuvio siten kuvautuu kyseisiin kerroksiin.
35 Tunnettuja syövytysmenetelmiä ovat mm. märkä- ja kuivasyövytys. Edullinen kui-

vasyövytysmenetelmä on ICP-syövytys (eng. inductively coupled plasma etching). Mikäli resisti- ja ydinmateriaalin välissä on yksi tai useampia ns. kovamaskikerroksia (eng. hard mask) niin rakenteen syövytys tehdään useammassa eri vaiheessa. Tällöin resistimaskin kuvio ensin syövyttämällä kuvataan ensimmäiseen kovamaski-

5 kerrokseen. Syntynyttä rakennetta voidaan sen jälkeen käyttää uutena maskina seuraavan kovamaskikerroksen syövytyksessä ja niin edelleen. Viimeisen kovamaskikerroksen kuvioinnin jälkeen lopulta syövyttämällä kuviodaan uloke ydinmateriaalikerrokseen. Syövytysten välissä ja jälkeen voidaan ylempiä resisti- tai kovamaski-

10 kerroksia poistaa materiaaliselektiivisillä välisyövytysvaiheilla. Ulokkeen kuvioinnin jälkeen voidaan vielä kasvattaa tai muutoin muodostaa ulokkeen päälle ja sivuille päällysmateriaalikerrokset.

Tunnettuja resistikuviointimenetelmiä ovat mm. optinen litografia, elektronisuihkulitografia, vaihemaskilitografia ja mekaaninen painotekniikka (eng. imprint technology). Seuraavassa kuvataan tarkemmin edullisen optisen litografian käyttö syövy-

15 tysmenetelmässä. Optisessa litografiassa prosessikuvio on ensin muodostettu kuviooiduksi metallikerrokseksi erillisen lasilevyn pintaan, eli ns. valotusmaskiksi. Resistikerroksena käytetään valoherkkää, kuten UV(ultravioletti)-valolle herkkää, materiaalia. Valotusmaskin metallikuvioilla peitetään tietty osa alustan pinnasta ja UV-valolla valotetaan peittämättömät pinnan osat. Resistin kehityksessä resisti poiste-

20 taan joko valottuneilta tai valottumattomilta alueilta, käytetystä resistiprosessista riippuen.

Lähtökohtana toisessa tunnetussa menetelmässä, kasvatusmenetelmässä, optiseen integroituun piiriin järjestettävän yhden tai useamman valokanavan valmistuksessa on alusta, jonka päälle kasvatetaan yhdestä tai useammasta materiaalista halutut ominaisuudet omaava valokanava. Kasvatusmenetelmässä alustalle on yleensä ennen kasvatus-

25 kasvatusmuodostettu syövytysmenetelmällä sellainen kasvatus ohjaava rakenne, joka johtaa uusien materiaalikerrosten kasvamisen vain haluttuihin kohtiin.

Epäkohtana edellä esitetyissä tunnetuissa valokanavissa ja niiden valmistusmenetelmissä on puute niiden muunneltavuudessa. Niissä kaikissa käytetään vain yhtä

30 prosessikuviota yhden valokanavan määrittelyyn, jolloin sekä vaaka- että pystydimensioita ei voida vapaasti erikseen säätää. Syövytysmenetelmässä yhtä maskia käytettäessä suoran valokanavan leveyttä voidaan helposti säätää prosessikuvion viivanleveyttä muuttamalla, mutta valokanavan korkeuden eli pystysuuntaisen dimension säätäminen on huomattavasti vaikeampaa. Eräs tunnettu ratkaisu ongel-

35 maan on harmaasävymaskin käyttäminen, jossa litografinen maski on osittain UV-valoa läpäisevä. Syövytysvaiheessa harmaasävymaskilla peitetyt alueita syövyte-

- 5 tään osittain pystysuunnassa, jolloin niiden paksuutta tai korkeutta siis voidaan periaatteessa säätää. Ongelmana on kuitenkin prosessin vaikea hallittavuus; pystydimension tarkka säätö ei onnistu helposti ja tuotantoprosessissa sen hallittavuusongelmat korostuvat. Kasvatusmenetelmässä ongelmana on, että prosessoidun valokanavan pystydimensioita ei voida säätää tai ne riippuvat ennalta määrätyllä kiinteällä tavalla vaakadimensioista.

- 10 Keksinnön tarkoituksena on poistaa edellä esitettyihin integroituun optiikkaan soveltuviin valokanaviin liittyvät epäkohdat. Keksinnön tarkoituksena on myös saada aikaan uusi optinen valokanava ja uusi valokanavaelementti sekä uusi menetelmä tällaisten valokanavien ja/tai valokanavaelementtien valmistamiseksi.

Keksinnön mukaiselle optiselle valokanavalle on tunnusomaista se, mitä on esitetty patenttivaatimuksessa 1.

Keksinnön mukaiselle valokanavaelementille optista valokanavaa varten on tunnusomaista se, mitä on esitetty patenttivaatimuksessa 15.

- 15 Keksinnön mukaiselle toiselle valokanavalle on tunnusomaista se, mitä on esitetty patenttivaatimuksessa 21.

Keksinnön mukaiselle menetelmälle optinen valokanavan tai vastaavan valokanavaelementin valmistamiseksi on tunnusomaista se, mitä on esitetty patenttivaatimuksessa 25.

- 20 Epäitsenäisissä patenttivaatimuksissa on esitetty keksinnön edullisia sovellusmuotoja.

- 25 Keksinnön mukainen optinen valokanava ja/tai valokanavaelementti on osa integroitua optista piiriä, joka valokanava ja/tai valokanavaelementti on järjestetty tasomaiselle alustalle ja jossa valokanavassa ja/tai valokanavaelementissä on valoa määrättyyn suuntaan, etenemissuuntaan, johtava ydinosa.

- 30 Keksinnön mukaisesti optisen valokanavan ydinosa on toteutettu yhdestä ja samasta materiaalista siten, että sen poikkileikkaus valon etenemissuuntaan nähden poikittaisessa tasossa on ainakin yhdeltä reunalta moniportainen. Tällöin ydinosa muodostaa alustaan nähden ulokkeen, jonka ainakin yksi pitkittäinen sivu tai molemmat pitkittäiset sivut on muodostettu portaista, jossa kuhunkin yksittäiseen portaaseen kuuluu noususeinämä ja vastaavasti askelmataso. Portaot on muodostettu tällöin vuorotellen toistuvista noususeinämistä ja askelmatasoista. On huomattava, että noususeinämät

eivät ole välttämättä pystysuoria vaan ne voivat olla esimerkiksi vinoja tai pyöristyneitä. Vastaavasti portaiden askelmatasot eivät välttämättä ole suoria, erityisesti vaakasuoria, tasoja, koska nekin voivat olla vinoja ja/tai pyöristyneitä. Vierekkäiset portaot ovat kuitenkin erikseen tunnistettavissa ja niiden sijainti määräytyy joko eri prosessikuvioiden tai eri prosessikuvioyhdistelmien perusteella.

Keksinnön mukaisessa valokanavaelementissä optista valokanavaa varten, joka valokanava on osa integroitua optista piiriä, joka on järjestetty alustalle, on valoa määrättyyn suuntaan, etenemissuuntaan, johtava ydinosa. Keksinnön mukaisesti valokanavaelementin ydinosa on toteutettu yhdestä ja samasta materiaalista ja siten, että ydinosan poikkileikkaus valon etenemissuuntaan nähden poikittaisessa tasossa on ainakin yhdeltä reunalta moniportainen ja ylhäältä katsottuna kaareva, erityisesti kupera.

Keksinnön mukainen toinen valokanava on toteutettu valokanavaelementein. Keksinnön mukaisesti valokanava on muodostettu joukosta identtisiä valokanavaelementtejä, jotka on järjestetty peräkkäin vastakkaissuuntaisesti toisiaan vasten. Keksinnön edullisimmassa sovellusmuodossa valokanavaelementtejä on parillinen lukumäärä.

Todettakoon, että keksinnön mukainen valokanavaelementti itsessään on valokanava, mutta siitä käytetään tässä yhteydessä tällaista nimitystä. Syynä nimitykseen on se, että valokanavaelementtiä ei yleensä käytetä yksin, vaan sitä käytetään edullisimmin aina pareittain, kuten keksinnön selityksestä käy ilmi.

Keksinnön mukaisten valokanavaelementtien etuna on, että niitä voidaan pareittain yhdistää toisiinsa ja muodostaa valokanavia, joiden avulla valokanavaa voidaan kääntää eli valon etenemissuuntaa muuttaa ja/tai yhdensuuntaisten valokanavien välillä voidaan tehdä sivuttaissiirtymä. Valokanavaelementit yhdistetään toisiinsa erityisesti vastakkaissuuntaisesti, jolloin saadaan toteutettua valon etenemissuunnassa symmetrinen rakenne.

Keksinnön mukainen optinen valokanava ja/tai valokanavaelementti on toteutettu edullisimmin puolijohdealustalle, erityisesti piikiekolle. Valokanava on prosessoitu tasomaiselle alustalle ja erityisesti sen päällä olevaan valoa johtavaan ydinkerrokseen edullisimmin keksinnön mukaisella menetelmällä.

Keksinnön mukaisen valokanavan etuna on, että sen avulla mitoiltaan ja/tai taitekerroinjakaumaltaan erilaisia valokanavia ja optisia kuituja on mahdollista yhdistää toisiinsa luotettavasti, helposti ja pienin tehohäviöin.

Keksinnön etuna on erityisesti, että sen avulla voidaan muuttaa adiabaattisesti valokanavan tyyppi esimerkiksi harjannevalokanavasta suorakaidekanavaksi. Suuren taitekerroineron ja karkeasti samat, aallonpituutta suuremmat, dimensiot omaavissa rakenteissa, harjannevalokanava voi olla yksimuotoinen ja vastaava suorakaidekanava puolestaan selvästi monimuotoinen. Keksinnön ansiosta yksinkertaiset muunnokset yksimuotoisista kanavista sekä pysty- että vaakasuunnassa monimuotoisiin kanaviin ovat mahdollisia.

Keksinnön mukaisen valokanavan etuna on myös se, että sen avulla yksimuotoisten valokanavayhteyksien vakio- ja muuttuväasteisten kaarrostojen kokoa voidaan selvästi pienentää ja suorat sekä eri tavoin kaartuvat valokanavajaksot voidaan yhdistää toisiinsa adiabaattisesti.

On huomattava, että edellä esitetyt valokanavan edut koskevat myös keksinnön mukaista valokanavaelementtiä.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä optinen valokanava valmistetaan sellaiselle tasomaiselle alustalle, jonka päällä on valmiiksi valoa johtavaa ydinkerros, jossa menetelmässä ydinkerrosta ohennetaan hallitusti useassa vaiheessa valokanavan eri portaiden muodostamiseksi, joissa kussakin ohennusvaiheessa käytetään hyväksi eri prosessikuviota, joiden prosessikuvioiden reunoilla on suora yhteys vastaaviin valokanavan eri portaiden reunojen sijaintiin alustalla ja tulokseksi saadaan valon etenemissuuntaan nähden poikkitasossa ainakin yhdeltä reunalta moniportainen valokanavarakenne.

Keksinnön mukaisen menetelmän etuna on, että valokanavan poikkipinta-alaa voidaan sekä leveys että pystysuunnassa helposti muuntaa.

Keksinnön mukaisella menetelmällä toteutetun valokanavan etuna on lisäksi se, että valokanavan mitta-, tyyppi- ja suuntamuunnokset toteutetaan adiabaattisesti so. muutokset toteutetaan loivasti yhdestä valokanavamitasta, -tyypistä tai suunnasta toiseen ilman äkillisiä muutoksia. Tällöin tehonsiirtoa ei tapahdu valokanavan eri muotojen välillä, jonka seurauksena etenevän valon tehohäviöt kanavassa ovat pienet ja valokanavayhteys voi toimia ulkoisesti yksimuotoisesti.

On huomattava, että keksinnön mukainen menetelmä soveltuu myös keksinnön mukaisen valokanavaelementin valmistamiseen.

Seuraavassa keksintöä ja sen muita etuja selostetaan yksityiskohtaisesti viittaamalla oheiseen piirustukseen, jossa

- kuvio 1 esittää poikkileikkausta ensimmäisestä tekniikan tason mukaisesta valokanavasta eli suorakaidevalokanavasta;
- kuvio 2 esittää poikkileikkausta toisesta tekniikan tason mukaisesta valokanavasta eli harjannevalokanavasta;
- 5 kuvio 3A esittää poikkileikkausta eräästä keksinnön mukaisesta valokanavasta;
- kuvio 3B esittää poikkileikkausta alustasta ja sen päällä olevasta ydinkerroksesta;
- kuvio 4 esittää lohkokaaavana vaiheittain valokanavan valmistusmenetelmää;
- kuvio 5A, 5B, 5C ja 5D havainnollistavat valokanavan valmistusta ja esittävät sen eri valmiusvaiheita;
- 10 kuvio 6 esittää perspektiivikuviota toisesta keksinnön mukaisesta valokanavasta, jonka avulla harjannevalokanava on muunnettavissa suorakaidevalokanavaksi tai päinvastoin;
- kuviot 7A, 7B, 7C esittävät poikkileikkauksia A - A, B - B ja C - C kuvion 6 valokanavista vastaavasti;
- 15 kuvio 8 esittää perspektiivikuviota kolmannelta ja neljänneltä keksinnön mukaisesta valokanavasta, joiden avulla ensimmäinen valokanava on muunnettavissa toiseksi valokanavaksi;
- kuviot 9A, 9B, 9C esittävät poikkileikkauksia D - D, E - E ja F - F kuvion 8 valokanavista vastaavasti;
- 20 kuvio 10 esittää päältä katsottuna kaaviomaisesti viidettä keksinnön mukaista valokanavaa, jonka avulla muutetaan kaarevasti valokanavan ja samalla valon etenemissuuntaa;
- kuvio 11 esittää päältä katsottuna valokanavaelementtiä;
- 25 kuviot 12A, 12B ja 12C esittävät poikkileikkauksia G - G, H - H kuvion 11 valokanavaelementistä ja poikkileikkausta K - K siihen yhdistetystä harjannevalokanavasta; ja
- kuvio 13 esittää päältä katsottuna kaaviomaisesti kuudetta keksinnön mukaista valokanavaa.

- Keksinnön kohteena on optinen valokanava, joka on osa integroitua optista piiriä. Valokanavassa on valoa määrättyyn suuntaan, etenemissuuntaan, johtava ydinosa. Valokanava, erityisesti sen moniportaisesti muodostettu ydinosa, on järjestetty tasomaiselle alustalle. Ydinosan alapuolella olevan kerroksen tai materiaalin taitekerroin ko. aallonpituudella on pienempi kuin ydinosan vastaava taitekerroin.

Keksinnön edullisessa sovellusmuodossa yhteisenä alustana on edullisimmin puolijohteesta valmistettu alusta, kuten puolijohdekiekko, jollaisia käytetään yleisesti myös elektronisten integroitujen piirien alustana. Alusta toimii fysikaalisena perustana, jolle joukko integroituja optisia piirejä järjestetään.

- 10 Eräs keksinnön mukainen optinen valokanava 5 on esitetty havainnollisesti poikkileikkauksena kuviossa 3A. Valokanava 5, joka on osa integroitua optista piiriä (ei esitetty piirustuksissa), on järjestetty alustalle 7.

- Alusta 7, kuvio 3B, muodostuu yhdestä tai useammasta materiaalista siten että alustan päällä olevan ydinkerroksen välittömästi alapuolella olevan materiaalin taitekerroin käytetyllä valon aallonpituudella on pienempi kuin ydinkerroksen vastaava taitekerroin. Edullisesti alustana voi toimia esimerkiksi SOI (eng. silicon on insulator) -kiekko. SOI-kiekko muodostuu paksusta piikiekosta 7a, jonka päällä on ensin ohut piidioksidikerros 7b ja sen päällä ohut piistä muodostuva ydinkerros 7c. Oksidikerros 7b toimii ns. puskurikerroksena joka piitä pienemmän taitekertoimensa ansiosta eristää ydinkerroksen 7c optisesti alla olevasta piikiekosta. Kuvio 3B esittää nimenomaan SOI-kiekkoa, mutta alustana voidaan vaihtoehtoisesti käyttää useita erilaisia yksi- tai useampikerroksisia rakenteita.

- Valokanavassa 5 on valoa määrättyyn suuntaan, etenemissuuntaan johtava ydinosa 50. Valon etenemissuunta z kuvion 3A mukaisessa valokanavassa on kohtisuoraan paperin pintaa vasten.

- Keksinnön mukaisesti valokanava 5, erityisesti sen ydinosa 50, on toteutettu yhdestä ja samasta materiaalista siten, että sen poikkileikkaus valon etenemissuuntaan nähden poikkittaisessa tasossa on ainakin yhdeltä reunalta 5a (tai 5b) ja samalla valokanavan pitkittäisellä sivulla, kuvion 3A sovellusmuodossa kummaltakin reunalta 5a, 5b eli pitkittäiseltä sivulta moniportainen. Tällöin valokanavan 5 reunat 5a, 5b on muodostettu portaista 6; 6^{1a} 6^{2a} 6^{3a} , 6^{1b} 6^{2b} 6^{3b} , jossa kukin porras 6 käsittää nousueinämän 6a ja askelmatason 6b. Voidaan myös ajatella, että portaat 6 on lisäksi muodostettu joukosta päällekkäisiä samaa ainetta olevia kerroksia 5^1 , 5^2 , 5^3 , joilla

edullisimmin ei ole mitään rajapintoja välillään, ja jotka ovat leveydeltään l_1, l_2, l_3 erilaiset.

Optinen valokanava 5, joka on esitetty kuviossa 3A, on pystytasoon Y—Y nähden symmetrinen. Tämä ei kuitenkaan ole välttämätöntä, vaan keksinnön mukainen valokanava voi olla myös pystytasoonsa nähden epäsymmetrinen ja lisäksi portaiden lukumäärä vastakkaisilla reunoilla voi olla erilainen (vrt. kuviot 10, 11 ja 12A ja 12B).

Valokanavan 5 ydinosa 50 on toteutettu useasta päällekkäisestä (kuvitteellisesta ja katkoviivoin kuviossa 3A esitetystä) ainekerroksesta $5^1, 5^2, 5^3, \dots, 5^k$ joiden lukumäärä k on minimissään kaksi, mutta joita voi olla esim. kolme, neljä tai viisi tai jopa useampia. Ydinosan 50 ainekerrosten $5^1, 5^2, 5^3, \dots, 5^k$ leveydet $l_1, l_2, l_3, \dots, l^k$ ovat erilaiset ja alla oleva ainekerros, esim. 5^2 , on aina leveämpi kuin sen päällä oleva ainekerros, esim. 5^1 , so. $l_1 < l_2 < l_3, \dots, < l^k$. Kerrosten $5^1, 5^2, 5^3, \dots, 5^k$ korkeudet $h_1, h_2, h_3, \dots, h^k$ eli noususeinämien 6a korkeudet voivat olla erilaiset, mutta myös yhtä suuret tai ainakin osalta kerroksia eri suuret.

Valokanavan 5 reunojen 5a, 5b porrask rakenne estää siinä kulkevaa valoa ja erityisesti sen kenttäjakaumaa karkaamasta valokanavasta. Ainekerrosten $5^1, 5^2, 5^3$ pitkät sivut ja samalla portaiden 6; $6^{1a}, 6^{2a}, 6^{3a}, 6^{1b}, 6^{2b}, 6^{3b}$ noususeinämät 6a sulkevat valon tehokkaasti sisäänsä valokanavan ydinosaan 50 ja estävät valoa säteilemästä ulos. Valon etenemishäviöt keksinnön mukaisessa valokanavassa ovat edullisimmas-
sa tapauksessa (so. sopivasti mitoitettussa valokanavassa) hyvin pienet.

Keksinnön mukaisen optisen valokanavan 5 ympärillä on eräässä sovellutuksessa päällyskerros eli vaippa 8. Tämä vaippa voi olla sopivaa kiinteää materiaalia, joka valmistuksen yhteydessä lisätään valokanavan 5 päälle, tai se voi olla kaasuvaippa, kuten ympäröivää ilmaa, tai jopa nestevaippa. Vaippa voi muodostua useammastakin kuin yhdestä kerroksesta tai materiaalista.

Alusta 7, jolle keksinnön mukainen valokanava 5 toteutetaan, on edullisesti puolijohdetta, edullisimmin puhdasta piitä. Piin sijasta vaihtoehtoisesti voidaan käyttää esim. galliumarsenidia (GaAs) tai muuta vastaavaa materiaalia. Alusta 7 on edullisimmin esiprosessoitu kiekko. Puhdasta piitä käytettäessä alustaksi 7 (vrt. kuvio 3B ja 5A) soveltuu erityisesti SOI-kiekko tai vastaava. SOI-kiekko muodostuu ainakin seuraavista kerroksista alhaalta ylöspäin kohti pintakerrosta tarkasteltaessa: perustana 7a piikerros, puskurikerroksena 7b piidioksidikerros (SiO_2), ja tämän päällä ydinkerroksena 7c piikerros, johon keksinnön mukainen valokanava 5 prosessoi-

daan. Piin taitekerroin on luokkaa $n = 3,5$ ja vastaavasti piidioksidin taitekerroin on luokkaa $n_a = 1,5$ riippuen valon aallonpituudesta. Käytetyn valon aallonpituus λ on luokkaa $1 - 2 \mu\text{m}$, edullisesti esim. $1,55 \mu\text{m}$. SOI-kiekon tai vastaavan ydinkerroksen paksuus on esim. $10 \mu\text{m}$, edullisimmin välillä $3 - 11 \mu\text{m}$, mutta jopa $1 - 15 \mu\text{m}$.

- 5 Keksinnön mukaisessa menetelmässä optinen valokanava 5 valmistetaan sopivalle valmiille alustalle 7, kuten SOI-kiekolle, jonka päällä on valmiina valoa johtava ydinkerros 7c. Keksinnön mukaisessa menetelmässä valokanava 5, erityisesti sen ydinosa 50, toteutetaan siten, että alustan päällä olevaa ydinkerrosta 7c ohennetaan hallitusti useassa vaiheessa valokanavan eri porrasten 6 ; 6^{1a} 6^{2a} 6^{3a} , 6^{1b} 6^{2b} 6^{3b} ja
- 10 kerrosten 5^1 , 5^2 , 5^3 muodostamiseksi, joissa kussakin ohennusvaiheessa käytetään hyväksi eri prosessikuviota, joiden pinta-alamitat, so. leveys ja pituus, vastaavat valokanavan eri kerrosten pinta-alamittoja, jolloin tulokseksi saadaan valon etenemissuuntaan nähden poikkitasossa ainakin yhdeltä reunalta 5; 5a, 5b moniportainen so. monesta portaasta 6 ; 6^{1a} 6^{2a} 6^{3a} , 6^{1b} 6^{2b} 6^{3b} ydinosaltaan 50 koostuva valokanavarakenne. Eri prosessikuvioiden reunat siis määräävät valokanavan portaiden reuno-
- 15 jen sijainnin alustan päällä olevassa ydinkerroksessa 7c. Samassa yhteydessä valmistetaan myös valokanavaan 5 liittyvät muut mahdolliset integroidut valokanavat.
- Keksinnön mukaisen valokanavan eräs edullinen valmistusmenetelmä, valolitografisen valmistusmenetelmä, esitetään vaiheittain kuviossa 4 ja vastaavasti yhden valokanavan eri valmiusasteet on esitetty havainnollisesti kuvioissa 5A, 5B, 5C ja 5D.
- 20

- Valokanavaa valmistettaessa, kuvio 4, vaiheessa 40 otetaan alusta 7, jonka päällä olevaan ydinkerrokseen 7c valokanava on tarkoitus järjestää. Alusta on esiprosessoitu kiekko, esim. SOI-kiekko. Ensimmäisessä valmistusvaiheessa 41 kiekon pinnalle lisätään kovamaskikerros 9; 9^1 , kuten piidioksidikerros. Toisessa vaiheessa 42 kovamaskikerroksen 9; 9^1 päälle lisätään resisti eli valoherkkä suojakalvo 10; 10^1 , kuva 5A. Tämän jälkeen kolmannessa vaiheessa 43 esikäsitelty kiekko sovitetaan ensimmäisen prosessimaskin eli tässä tapauksessa valotusmaskin 11; 11^1 kanssa valotuslaitteeseen, jossa alusta 7 ja prosessikuvio 11 ovat samansuuntaisesti pienen etäisyyden päässä toisistaan, ja valotetaan. Tällöin valon 12, erityisesti UV-valon, annetaan vaikuttaa alustan pintakerrokseen ja erityisesti valoherkkään suojakalvoon 10; 10^1 valotusmaskin 11; 11^1 aukkojen $11a^1$, $11b^1$ läpi. Kuva valotusmaskista, erityisesti sen reunoista, järjestetään näin kiekon pintaan. Seuraavassa neljännessä vaiheessa 44 valotettu kiekko kehitetään, jolloin ne osat valoherkstä kalvosta, jotka ovat valottuneet, irtoavat. Tämän jälkeen kiekkoa syövytetään viidennessä vaiheessa
- 25
- 30
- 35 45 siten, että kehityksessä suojattomiksi tulleilta alueilta saadaan syövytettyä ensin kovamaskikerros ja sitten ensimmäiset urat 13, 14, kuvio 5B, halutulle syvyydelle

h_1 . Kovamaskin ja ydinkerroksen syövytykset ovat yleensä erillisiä prosessivaiheita vaikka ne kuviossa 4 on yksinkertaisuuden vuoksi esitetty yhtenä vaiheena. Syövytyksen jälkeen urien 13, 14 väliin jää ensimmäinen uloke 15, jonka korkeus on h_1 ja leveys on l_1 . Kuudennessa vaiheessa 46 poistetaan resisti 10; 10^1 . Seitsemännessä vaiheessa 47 poistetaan kovamaskikerros 9; 9^1 syövyttämättömien alueiden päältä. Ensimmäinen käsittelykierros $q = 1$ on toteutettu. Siirrytään seuraavaan $q = q + 1$ eli tässä tapauksessa toiseen käsittelykierrokseen, vaihe 48.

Toinen käsittelykierros $q = 2$ alkaa periaatteessa samalla tavalla kuin ensimmäinen käsittelykierros: ensin lisätään uusi kovamaskikerros 9; 9^2 nyt jo kerran käsitellyn alustan päälle ja valoherkkä suojakalvo 10; 10^2 myös lisätään kovan maskikerroksen päälle eli ensimmäinen ja toinen vaihe 41, 42 toteutetaan uudestaan. Tämän jälkeen siirrytään kolmanteen vaiheeseen 43 ja suoritetaan valotus toisen prosessimaskin eli tässä tapauksessa valotusmaskin 11; 11^2 kanssa, kuvio 5C. Valon 12, erityisesti UV-valon, annetaan vaikuttaa alustan pintakerrokseen ja erityisesti valoherkkään suojakalvoon 10; 10^2 toisen valotusmaskin 11: 11^2 aukkojen 11a, $11a^2$, 11b, $11b^2$ läpi. Neljännessä ja viidennessä vaiheessa 44, 45 alustalle suoritetaan jälleen kehitys ja syövytys, jonka seurauksena tässä sovellusesimerkissä jo aiemmin ensimmäisellä kierroksella muodostettuja ensimmäisiä uria 13, 14 syvennetään niiden osa-alueilta ja saadaan aikaan toiset urat 16, 17, joiden syvyys on h_2 . Samassa yhteydessä on mahdollista tehdä uusia uria. Tämän jälkeen poistetaan resisti vaiheessa 46 ja kovamaskikerros vaiheessa 47. Tällöin ensimmäisessä käsittelykierroksella $q = 1$ muodostetun ensimmäisen ulokkeen 15 alaosaan on saatu muodostettua sitä leveämpi toinen uloke 18, joka on korkeudeltaan h_2 . Toinen käsittelykierros $q = 2$ on toteutettu.

Tämän jälkeen tutkitaan, onko kaikki käsittelykierrokset q käyty läpi, vaihe 48. Mikäli ei ole, siirrytään seuraavalle, tässä tapauksessa kolmannelle, käsittelykierrokselle $q = 3$, jossa toistetaan jo edellä aikaisemmilla käsittelykierroksilla esitetyt menetelmävaiheet 41 - 48. Jälleen lisätään uusi kovamaskikerros 9; 9^3 ja valoherkkä suojakalvo 10; 10^3 käsitellyn alustan päälle. Nyt käytetään kolmatta prosessimaskia eli tässä tapauksessa valotusmaskia 11: 11^3 , jossa on vastaavasti aukot 11a, $11a^3$; 11b, $11b^3$ jonka avulla muodostetaan kolmannet urat 19, 20, jotka ovat tässä tapauksessa kapeita ja syviä uria, jotka ulottuvat alustan 7 puskurikerroksen 7b läpi perustaan 7a. Näiden urien 19, 20 väliin jää kolmas uloke 21, jonka leveys l_3 on suurempi kuin toisen ulokkeen 18 leveys l_2 ja joka on ensimmäisen ulokkeen 15 ja toisen ulokkeen 18 alapuolella. Kolmannen ulokkeen 21 korkeus on h_3 . Tässä sovelluksessa kolman-

silla urilla 19, 20 eristetään valokanava 5 sen lähipiirissä olevista muista valokanavista ja/tai muista optisista integroiduista laiteosista.

- 5 Kun todetaan, että käsittelykierrokset q on käyty läpi, vaihe 48, valokanava on valmis, vaihe 49. Käsittelykierrosten q minimimäärä on kaksi, koska kahta prosessikuviota eli tässä tapauksessa valotusmaskia on vähintään käytettävä keksinnön mukaisen valokanavan aikaansaamiseksi.

- 10 Edellä esitetyssä valmistusprosessissa, kuvio 4, kovamaskikerros 9 esitetään lisättäväksi jokaisella käsittelykierroksella q , vaihe 41, ja vastaavasti poistettavaksi, vaihe 47. Tämä ei kuitenkaan ole aina välttämätöntä, vaan samaa kovamaskikerrosta voidaan käyttää useammalla kuin yhdellä käsittelykierroksella. (vrt. kuvio 4 katkovii-
vanuolet). Tällöin jokaisella käsittelykerroksella jatketaan kaikkien jo tehtyjen urien syventämistä ja aloitetaan ainakin yhden uran syövytys.

Syövytyssyvyyydet h ; h_1 , h_2 alustalle, joka on SOI-kiekko, ovat tyypillisesti välillä $0,5 - 5 \mu\text{m}$. Vastaavasti ulokkeiden leveydet l ; l_1 , l_2 , l_3 ovat luokkaa $0,5 - 15 \mu\text{m}$

- 15 Edellä kuvatussa valmistusmenetelmäesimerkissä saatiin aikaan valokanava, kuvio 5D, joka koostuu ulokkeista 15, 18, 21, jotka vastaavat tällöin kuvion 3A valokanavan 5 kerroksia 5^1 , 5^2 , 5^3 vastaavasti niin korkeudeltaan h ; h_1 , h_2 , h_3 kuin leveyksiltäänkin l ; l_1 , l_2 , l_3 . Valokanavan 5 poikkileikkaus valon etenemissuuntaan nähden poikittaisessa tasossa on kummaltakin reunalta 5a, 5b moniportainen so. reunoihin
20 5a, 5b kuuluu portaat 6; 6^{1a} 6^{2a} 6^{3a} , 6^{1b} 6^{2b} 6^{3b} , kuten kuvion 3A sovellusesimerkissä.

- 25 Havainnollisuuden vuoksi kuvioissa 4, 5A, 5B, 5C ja 5D on esitetty erityisesti kuvion 3A mukaisen valokanavan 5 valmistus. Kuitenkin on selvää, että keksinnön mukaista menetelmää voidaan soveltaa ylipäättään keksinnön mukaisten kaksi tai useampiportaisten valokanavien valmistuksessa toistamalla kuvion 4 käsittelykierroksen q mukaiset menetelmävaiheet riittävän monta kertaa edellä esitetyllä tavalla. Käsittelykierroksia q on yleensä yhtä monta kuin valmistettavassa valokanavassa 5 on portaita 6. Käsittelykierrosten minimimäärä on kaksi, mutta niitä voi olla useampia-
kin valmistettavan valokanavan ominaisuuksista riippuen.

- 30 Valokanavan valmistuksessa, kuvio 4, kukin valokanavan ainekerros 5^1 , 5^2 , 5^3 ja vastaava porras 6; 6^{1a} 6^{2a} 6^{3a} , 6^{1b} 6^{2b} 6^{3b} toteutettiin peräkkäin järjestyksessä ylimmästä kerroksesta 5^1 ja vastaavasta portaasta 6^{1a} , 6^{1b} alkaen. Käsittelykierrosten järjestystä ja samalla prosessikuvioden käyttöjärjestystä voidaan kuitenkin muuttaa. Prosessikuviot voivat olla periaatteessa mielivaltaisessa järjestyksessä ja muodoiltaan vaihtelevia. Tällöin on kuitenkin pidettävä huoli siitä, että eri käsittelykierros-

ten syövytyssyvyyksien summa tai ainakin eri syövytysvaiheiden yhteisvaikutus valokanavan reunoilla eri kerrosten osalta on sopiva halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Erityisesti on syytä huomata, että joitakin alueita voidaan ylisyövyttää siten, että niissä syövytyssyvyyksien summa on suurempi kuin alkuperäinen ydinkerroksen paksuus. Tällöin syövytyksen mahdollinen jatkuminen ydinkerroksen alla oleviin kerroksiin riippuu kyseisten kerrosten materiaaleista ja käytetystä syövytysmenetelmästä (vrt. kuviot 3A, 5D).

Keksinnön mukainen valokanava 60, jota seuraavassa kutsutaan toiseksi valokanavaksi, on esitetty havainnollisesti kuviossa 6 perspektiivikuvana ja sen poikkileikkaus kuviossa 7B. Valokanava 60 on muunnosvalokanava, joka on järjestetty siinänsä tunnettujen harjannevalokanavan 61 ja suorakaidevalokanavan 62 väliin.

Toisessa valokanavassa 60 on kaksi samasta materiaalista toteutettua päällekkäistä ainekerrosta 60^1 , 60^2 , jotka muodostavat sen ydinosan 600. Kerrokset tulee ymmärtää samalla tavalla keksintöä havainnollistaviksi hypoteettisiksi käsitteiksi kuin edellä kuvion 3A valokanavaa 5 selostettaessa. Valokanavan 60 kerroksilla 60^1 , 60^2 on eri leveydet l_{60a} , l_{60b} , jolloin valokanavan 60 reunoihin 60a, 60b muodostuu portaat 6 ; 6^{1a} , 6^{2a} ; 6^{1b} , 6^{2b} .

Toinen valokanava 60 on toteutettu tasomaiselle alustalle 7, kuten edellä on jo esitetty. Alusta 7 on perusmateriaaliltaan edullisesti puolijohdetta, edullisimmin puhdasta piitä. Alustaksi 7 soveltuu erityisesti SOI-kiekkko tai vastaava. Alustan päälle on valmiiksi järjestetty ydinkerros 7c, johon varsinainen valokanava 60 valmistuksessa järjestetään, kuten kuviossa 3B esitetään.

Valokanavan 60 ylimmän eli ensimmäisen kerroksen 60^1 korkeus ja samalla ylimmän portaan nousu h_{60a} on yhtä suuri kuin harjannevalokanavan 61 harjanteen 61^1 korkeus h_h . Valokanavan 60 ensimmäinen pää on liitetty harjannevalokanavaan 61 ja toinen pää suorakaidekanavaan 62. Valokanavan 60 ja harjannevalokanavan 61 liitoskohdassa 601 valokanavan 60 ensimmäisen kerroksen 60^1 leveys $l_{60a} = l_{601a}$ on yhtä suuri kuin harjannevalokanavan harjanteen 61^1 leveys l_h . Valokanavan 60 ja suorakaidevalokanavan 62 liitoskohdassa 602 valokanavan 60 ensimmäisen kerroksen 60^1 leveys $l_{60a} = l_{602a}$ on yhtä suuri kuin suorakaidevalokanavan 62 leveys l_s . Kanavien liitoskohdissa 601, 602 ei ole mitään materiaalista liitosaluetta tai vastavaa, vaan eri kanavien kerroksista muodostuvat ydinosat ovat samaa materiaalia ja liittyvät toisiinsa suoraan ja saumattomasti.

Kuvion 6 sovellusesimerkissä harjannevalokanavan 61 harjanteen 61^1 leveys l_h on pienempi kuin suorakaidevalokanavan 62 leveys l_s . Vaihtoehtoisesti sovelluksesta riippuen harjanteen 61^1 leveys l_h on sama tai suurempi kuin suorakaidevalokanavan 62 leveys l_s . Valokanavan 60 ensimmäisen kerroksen leveys l_{60a} on siis järjestetty muuttumaan ensimmäisestä leveydestä l_{601a} , joka on yhtä suuri kuin harjannevalokanavan harjanteen 61^1 leveys l_h ensimmäisessä liitoskohdassa 601, toiseen leveyteen l_{602a} , joka on yhtä suuri kuin suorakaidevalokanavan 62 leveys l_s toisessa liitoskohdassa 602.

Valokanavan 60 toisen kerroksen 60^2 korkeus h_{60b} ja samalla toisen portaan nousu on yhtä suuri kuin harjannevalokanavan 61 kantaosan 61^2 korkeus h_k . Valokanavan 60 ja harjannevalokanavan 61 liitoskohdassa 601 valokanavan 60 toisen kerroksen 60^2 leveys $l_{60b} = l_{601b}$ on yhtä suuri kuin harjannevalokanavan kantaosan 61^2 äärellinen leveys l_{61k} . Valokanavan 60 ja suorakaidevalokanavan 62 liitoskohdassa 602 valokanavan 60 toisen kerroksen 60^2 leveys $l_{60b} = l_{602b}$ on yhtä suuri kuin suorakaidevalokanavan 62 leveys l_s . Harjannevalokanavan 61 kantaosan 61^2 leveys l_{61k} on periaatteessa ääretön, mutta käytännössä toinen valokanava 60 ja sen toinen kerros 60^2 liitetään liitoskohdassa 601 kantaosaan 61^2 jossain sopivassa äärellisessä leveydessä joka on niin suuri ettei sillä ole merkittävää vaikutusta valokanavan toimintaan. Edullisesti leveys l_{61k} on harjanteen 61^1 leveys l_h kertaa vakioluku, joka lasketaan numeerisesti.

Toisen valokanavan 60 ensimmäisen kerroksen 60^1 korkeus h_{60a} on siis yhtä suuri kuin harjannevalokanavan harjanteen 61^1 korkeus h_h , kun taas toisen kerroksen 60^2 korkeus h_{60b} on yhtä suuri kuin harjannevalokanavan kantaosan 61^2 korkeus h_k . Suorakaidevalokanavan 62 korkeus h_s vuorostaan on toisen valokanavan 60 kerrosten 60^1 , 60^2 korkeuksien h_{60a} ja h_{60b} summa eli $h_s = h_{60a} + h_{60b} = h_h + h_k$.

Toisen valokanavan 60 kerrosten 60^1 , 60^2 korkeudet h_{60a} , h_{60b} ja siis portaiden nousut riippuvat harjannevalokanavan 61 harjanteen 61^1 ja kantaosan 61^2 korkeusmitoista h_h , h_k ja vastaavasti myös suorakaidevalokanavan 62 korkeudesta h_s . Kuten edellä esitetystä käy ilmi, toisen valokanavan 60 ensimmäinen kerros 60^1 eli sisemmän porrastarparin väli on järjestetty valon kulkusuunnassa kapenemaan (tai vastaavasti levenemään) edullisimmin tasaisesti ja suoraviivaisesti yhdestä leveydestä l_h toiseen leveyteen l_s (tai päinvastoin valon vastakkaiseen etenemissuuntaan katsottaessa).

Toisen valokanavan 60 tarkoituksena on yhdistää toisiinsa kaksi eri muotoista ja ainakin osittain erilaiset dimensioid omaavaa valokanavaa 61, 62. Keksinnön mukaista

valokanavaa 60 soveltamalla tämä saadaan toteutettua adiabaattisesti halutulla tavalla mahdollisimman vähin valon etenemishäviöin. Esitetyssä sovellusesimerkissä toinen valokanava 60 ja sen yhdistämät valokanavat 61, 62 ovat pystysuuntaiseen keskitasoonsa nähden symmetrisiä.

- 5 Toisen valokanavan 60 ja siihen liitettyjen harjannevalokanavan 61 ja suorakaidevalokanavan 62 valmistus toteutetaan käyttäen hyväksi kahdessa peräkkäisessä käsittelyvaiheessa kahta, ensimmäistä ja toista, valotusmaskia 66, 67 tai vastaavaa prosessikuviota. Valotusmaskit 66, 67 on esitetty kuviossa 6 havainnollisesti etäisyyden
10 päässä alustan 7 ja sen päälle järjestetyn keksinnön mukaisen toisen valokanavan 60 yläpuolella.

- Ensimmäinen maski 66 vastaa ensimmäisestä päästään 66a leveydeltään l_{66a} harjannevalokanavan 61 harjanteen 61^1 leveyttä l_h . Ensimmäistä liitoskohtaa 601 vastaavasta maskikohdasta 601a kohti toista päätä 66b ensimmäinen maski 66 levenee ja sen leveys l_{66} on yhtä suuri kuin harjannevalokanavan 61 ja suorakaidevalokanavan
15 62 yhdistävän toisen valokanavan 60 ensimmäisen kerroksen 60^1 leveys l_{60a} aina toista liitoskohtaa 602 vastaavaan maskikohtaan 602a asti, josta eteenpäin se tässä sovelluksessa levenee edelleen samalla tavalla kuin maskikohtien 601a, 602a välillä. Toisen maskikohdan 602a jälkeen esitettyyn eli suorakaidevalokanavan 62 suuntaan ensimmäisen maskin 66 leveys l_{66b} on suurempi kuin prosessoitavan suorakaidevalokanavan 62 leveys l_s eikä sen suuruudella sinänsä ole merkitystä; toisen valotusmaskin 67 avulla rajataan suorakaidevalokanava 62 lopulliseen leveyteensä l_s , kuten
20 seuraavasta käy ilmi.

- Toinen valotusmaski 67 vastaa toisesta päästään 67b leveydeltään l_{67b} suorakaidekanavan 62 leveyttä l_s . Toista liitoskohtaa 602 vastaavasta maskikohdasta 602b kohti
25 ensimmäistä päätä 67a toinen maski 67 levenee ja sen leveys l_{67} on yhtä suuri kuin harjannevalokanavan 61 ja suorakaidevalokanavan 62 yhdistävän toisen valokanavan 60 toisen kerroksen 60^2 leveys l_{60b} aina ensimmäistä liitoskohtaa 601 vastaavaan maskikohtaan 601b asti, josta eteenpäin se tässä sovelluksessa levenee edelleen samalla tavalla kuin maskikohtien 601b, 602b välillä. Ensimmäisen maskikohdan 601b
30 jälkeen esitettyyn eli harjannevalokanavan 61 suuntaan toisen maskin 67 leveys l_{67a} on niin paljon harjannevalokanavan 61 leveyttä suurempi ettei sen suuruudella sinänsä ole merkittävää vaikutusta valokanavan toimintaan. Siksi voidaan sanoa, että liitoskohdassa 601 toisen maskin 67 leveys l_{67a} vastaa leveydeltään harjannevalokanavan 61 kantaosan 61^2 äärellistä leveyttä.

Koska toisen maskin 67 leveydellä l_{67} ensimmäisessä liitoskohdassa 601 ei ole merkittävää vaikutusta valokanavan toimintaan niin ensimmäisen liitoskohdan 601 paikka määräytyy yksinomaan sitä vastaavan ensimmäisen maskin 66 maskikohdan 601a perusteella. Ensimmäisen maskin 66 leveydellä l_{66b} toisesta liitoskohdasta 602 kohti

5 suorakaidevalokanavaa 62 ei ole puolestaan mitään vaikutusta valokanavan toimintaan niin kauan kuin se on suurempi kuin vastaavassa kohdassa oleva toisen maskin 67 leveys l_{67b} . Toisen liitoskohdan 602 paikka määräytyy yksinomaan maskien 66, 67 reunojen leikkauspisteiden perusteella. Kuviossa 6 liitoskohta 602 on piirretty yksinkertaisuuden vuoksi yhtenemään maskikohdan 602b kanssa, mutta näin ei vält-

10 tämättä tarvitse olla. Toinen maski 67 voi esimerkiksi jatkaa kaventumistaan vielä lyhyen matkaa maskikohdasta 602b eteenpäin kohti suorakaidevalokanavaa 62, jolloin myös toiseen valokanavaan 60 liitetty suorakaidevalokanava kapenee vastaavasti.

Rajallisen maskinkohdistustarkkuuden takia maskit 66, 67, tai niitä vastaavat pro-

15 sessikuviot, voivat hieman siirtyä toisiinsa nähden valokanavaa valmistettaessa. Toisen valokanavan 60 toiminta ei kuitenkaan merkittävästi muutu pienten kohdistusvirheiden takia, sillä edellisen perusteella mitään maskikohtia ei tarvitse ehdottoman tarkasti kohdistaa toisiinsa nähden. Kohdistusvirheet korkeintaan hieman siirtävät liitoskohtia 601 ja 602 valokanavan pituussuunnassa ja tekevät toisen valokanavan

20 60 hieman pystysuuntaisen keskiakselinsa suhteen epäsymmetriseksi. Riittävän loivasti leveneviä ja kapenevia maskikuvioita käyttämällä toinen valokanava 60 pysyy tällöinkin riittävän adiabaattisena.

Ensimmäistä ja toista valotusmaskia 66, 67 käytetään toisen valokanavan 60 ja siihen liittyvien valokanavien 61, 62 valmistuksessa, esimerkiksi kuten kuvion 4 yhteydessä on selostettu. Valmistuksessa ensimmäisen maskin 66 käyttöä seuraavassa ensimmäisen käsittelykierroksen syövytysvaiheessa 45 syövytys toteutetaan ensimmäiseen syvyyteen $h_1 = h_h = h_{60a}$, jolloin toisen valokanavan 60 ensimmäinen kerros 60^1 ja ensimmäisen harjannevalokanavan 61 harjanne 61^1 saadaan erotettua alustan 7 päällä olevasta ydinkerroksesta 7c. Ensimmäisessä syövytysvaiheessa poistett

25 alueet 64a, 64b on havainnollisesti merkitty katkoviivoin kuvioihin 7A, 7B ja 7C. Toisen maskin 67 käyttöä seuraavassa toisen käsittelykierroksen syövytysvaiheessa ydinkerrosta syövytetään siten, että suorakaidevalokanavan reunoilla syövytys ulottuu koko ydinkerroksen läpi (syvyydelle h_s) ja samalla kolmannen valokanavan 60 toinen kerros 60^2 ylisyövytetään ydinkerroksen jäljellä olevan paksuuden h_{60b} läpi.

30 Toisen syövytysvaiheen toinen syövytyssyvyys h_2 on ylisyövytyksen takia erilainen

35

eri alueilla. Toisessa syövytysvaiheessa poistetut alueet 65a, 65b on havainnollisesti merkitty katkoviivoin kuvioihin 7B ja 7C.

Keksinnön mukainen valokanava eli edellä kuvattu toinen valokanava 60 on toteutettavissa edelliseen menetelmään nähden myös edullisella ensimmäisellä muunnellulla valmistusmenetelmällä. Tällöin valotusmaskeja 66 ja 67 käytetään edelliseen nähden käänteisessä järjestyksessä ja lisäksi niiden yhteydessä käytetään yhteistä kovamaskikerrosta. Ensimmäisellä käsittelykierroksella, kuvio 4, siis ohitetaan kuudes vaihe 47 eli kovamaskikerroksen poisto. Tällöin maskin 67 käyttöä seuraavassa ensimmäisen käsittelykierroksen syövytysvaiheessa ydinkerrosta syövytetään syvyydelle h_{60b} ja maskin 66 käyttöä seuraavassa toisen käsittelykierroksen syövytysvaiheessa ydinkerrosta syövytetään syvyydelle h_{60a} . Jälkimmäinen syövytysvaihe jatkaa kaikkien ensimmäisellä käsittelykierroksella syövytettyjen alueiden (suorakaidevalokanavan reunat ja toisen valokanavan 60 toisen kerroksen reunat) syövyttämistä ydinkerroksen alareunaan asti ja samanaikaisesti syövyttää syvyydelle $h_h =$

15 h_{60a} sekä harjannevalokanavaa ympäröivät alueet 64a ja 64b että toisen valokanavan vierekkäisten portaiden $6; 6^{1a}, 6^{2a}$ ja $6; 6^{1a}, 6^{2a}$ väliset alueet. Lopputuloksena saadaan tällä menetelmällä sama rakenne kuin edelliselläkin menetelmällä, mutta tällä tavalla jokainen syövytysvaihe syövyttää kaikilla alueilla samalle syvyydelle ja siksi vältetään sellainen ylisyövytysvaihe jossa syövytys joillakin alueilla pyrkii ohittamaan ydinkerroksen alareunan.

Keksinnön mukainen valokanava eli edellä kuvattu toinen valokanava 60 on toteutettavissa kuvioihin 6, 7B nähden myös toisen ja kolmannen edullisen muunnellun valmistusmenetelmän avulla. Toisessa muunnellussa valmistusmenetelmässä valokanavan 60 toisen kerroksen leveys l_{60b} , ja sitä vastaava toisen maskin 67 leveys l_{67} , on järjestetty harjannevalokanavan 61 harjanteen leveyttä l_h suuremmaksi vakioksi, joka on yhtä suuri kuin suorakaidevalokanavan 62 leveys l_s . Tällöin valokanavan 60 ensimmäisen kerroksen leveys l_{60a} , ja sitä vastaava ensimmäisen maskin 66 leveys l_{66} , on järjestetty levenemään ensimmäisen maskikohdan 601 leveydestä eli harjannevalokanavan 61 harjanteen leveydestä l_h kohti suorakaidevalokanavaa. Kolmannessa muunnellussa valmistusmenetelmässä valokanavan 60 ensimmäisen kerroksen leveys l_{60a} , ja sitä vastaava ensimmäisen maskin 66 leveys l_{66} , on järjestetty vakioksi, joka on yhtä suuri kuin suorakaidevalokanavan 62 leveys l_s toisessa liitoskohdassa 602. Tällöin valokanavan 60 toisen kerroksen leveys l_{60b} , ja sitä vastaava toisen maskin 67 leveys l_{67} , on järjestetty kapenemaan ensimmäisen maskikohdan 601 leveydestä eli harjannevalokanavan 61 kantaosan 61^2 äärellisestä leveydestä l_{61k} kohti suorakaidevalokanavaa ja vielä hieman toisen maskikohdan 602 ohi, jotta maski-

kohdistukselle ei asetettaisi erittäin suuria vaatimuksia. Toisessa ja kolmannessa muunnellussa valmistusmenetelmässä muut valokanavan 60 mitat pidetään ennallaan ja/tai järjestetään muuttumaan, kuten edellä kuvioden 6, 7A, 7B ja 7C yhteydessä on selostettu.

- 5 Keksinnön mukainen valokanava 80, jota seuraavassa kutsutaan kolmanneksi valokanavaksi, on esitetty perspektiivikuvana kuviossa 8 ja sen poikkileikkaus kuviossa 9B. Tämä valokanava 80 on muunnosvalokanava, joka on järjestetty kahden dimensioiltaan erilaisen, ensimmäisen ja toisen harjannevalokanavan 81, 82 väliin. Ensimmäinen harjannevalokanava 81, kuvio 9A, eroaa toisesta harjannevalokanavasta 82, kuvio 9C, niin harjanteen 81^1 , 82^1 korkeuden h_{81h} , h_{82h} kuin leveydenkin l_{81a} , l_{82a} suhteen.

- 15 Kolmas valokanava 80 on toteutettu tasomaiselle alustalle 7, kuten edellä esitetyt valokanavan sovellusmuodot. Alusta 7, jolle keksinnön mukainen valokanava 80 toteutetaan, on perusmateriaaliltaan edullisesti puolijohdetta, edullisimmin puhdasta piitä. Alustaksi 7 soveltuu erityisesti SOI-kiekkotai vastaava. Alustan päälle on valmiiksi järjestetty ydinkerros 7c, johon varsinainen valokanava 80 valmistuksessa järjestetään, kuten kuviossa 3B esitetään.

- 20 Kolmannessa valokanavassa 80 on kolme samasta materiaalista, edullisimmin puolijohdemateriaalista, kuten piistä, toteutettua päällekkäistä ainekerrosta 80^1 , 80^2 , 80^3 , jotka muodostavat sen ydinosan 800. Kerrokset tulee ymmärtää samalla tavalla keksintöä havainnollistaviksi hypoteettisiksi käsitteiksi kuin edellä kuvion 3A valokanavaa 5 selostettaessa. Valokanavan 80 kahdella kerroksella, ensimmäisellä ja toisella kerroksella 80^1 , 80^2 , on eri leveydet l_{80a} , l_{80b} , jolloin valokanavan 80 reunoissa $80a$, $80b$ on portaat 6 ; 6^{1a} , 6^{2a} ; 6^{1b} , 6^{2b} . Kolmas kerros 80^3 kuuluu valokanavan 80 kantaosaan ja sillä on määrätty äärellinen leveys, joka on niin suuri ettei sillä ole merkittävää vaikutusta valokanavan toimintaan.

- 30 Kolmannessa valokanavassa 80 on ensimmäisessä päässä kolme kerrosta 80^1 , 80^2 , 80^3 ja toisessa päässä kaksi kerrosta 80^2 , 80^3 . Valokanavan 80 ylimmäisen eli ensimmäisen kerroksen 80^1 korkeus h_{80a} on yhtä suuri kuin ensimmäisen harjannevalokanavan 81 harjanteen 81^1 korkeus h_{81h} , toisen kerroksen 80^2 korkeus h_{80b} on yhtä suuri kuin toisen harjannekanavan 82 harjanteen 82^1 korkeus h_{82h} ja alimman eli kolmannen kerroksen 80^3 korkeus h_{80c} on yhtä suuri kuin toisen harjannekanavan 82 kantaosan 82^2 korkeus h_{82k} . Ensimmäisen harjannekanavan 81 kantaosan 81^2 korkeus h_{81k} on yhtä suuri kuin kolmannen valokanavan 80 toisen ja kolmannen kerroksen 80^2 , 80^3 korkeuksien h_{80b} , h_{80c} summa.

Kolmannen valokanavan 80 kerrosten 80^1 , 80^2 leveydet on järjestetty muuttumaan kuvion 8 sovellusesimerkissä ensimmäisen ja toisen harjannevalokanavan 81, 82 välissä siten, että valokanavan 80 ylin kerros 80^1 alkaa kanavien pituussuunnassa (tässä tapauksessa valon etenemissuunta) ensimmäisestä harjannevalokanavasta 81 ja ensimmäisestä liitoskohdasta 801 yhtä leveänä kuin tämän harjanne 81^1 so. $l_{80a} = l_{81a}$, kapenee kohti toista harjannevalokanavaa 82 ja päättyy kärkeen $80k^1$ etäisyydellä e toisesta valokanavasta 82. Etäisyys e on sopivasti valittavissa sovelluksesta ja kolmannen kanavan 80 pituudesta riippuen. Ylimmän kerroksen 80^1 korkeus h_{80a} on vakio, jolloin tämä kerros muodostaa terävän kiilamaisen särmän valokanavan 80 toisen kerroksen 80^2 päälle. Kolmannen valokanavan 80 toinen kerros 80^2 yhtyy ensimmäisen harjannevalokanavan 81 kantaosaan 81^2 ensimmäisessä liitoskohdassa 801. Toinen kerros 80^2 kapenee sopivasta kantaosan 81^2 äärellisestä leveydestä kohti toisen harjannevalokanavan 82 harjanteen 82^1 leveyttä l_{82a} . Toinen kerros 80^2 liittyy toisen harjannevalokanavan 82 harjanteeseen 82^1 ja sen leveys l_{80b} on tällöin toisessa liitoskohdassa 802 yhtä suuri kuin harjanteen 82^1 leveys l_{82a} . Kolmannen valokanavan 80 kolmas kerros 80^3 yhtyy ensimmäisessä liitoskohdassa 801 ensimmäisen harjannevalokanavan 81 kantaosaan 81^2 yhdessä toisen kerroksen 80^2 kanssa ja vastaavasti se sulautuu toisen harjannevalokanavan 82 kantaosaan 82^2 toisessa liitoskohdassa 802. Edellä mainitut kantaosat ovat leveydeltään äärellisiä, kuten edellä toisen valokanavan 60 yhteydessä todettiin; kantaosan leveys on esim. vähintään vastaavan harjanteen leveys kertaa vakioluku, joka on numeerisesti laskettu (ja esim. yhtä suuri tai suurempi kuin 3).

Kolmas valokanava 80 toimii kumpaankin sen pituussuuntaiseen valon etenemissuuntaan s_1 , s_2 ja välittää näin sen läpi kulkevan valon dimensioiltaan suuresta ensimmäisestä harjannevalokanavasta 81 dimensioiltaan pieneen toiseen harjannevalokanavaan 82 tai päinvastoin. Kolmas valokanava 80 on toteutettu sen muuttuvien kerrosten 80^1 , 80^2 osalta leveyksien l_{80a} , l_{80b} suhteen siten, että ne muuttuvat edullisimmin suoraviivaisesti harjannevalokanavien 81, 82 välissä.

Edellä esitetyillä järjestelyillä valo, erityisesti perusmuodossa $m = 0$ etenevä valo, saadaan kulkemaan kolmannessa valokanavassa 80 adiabaattisesti ilman merkittäviä tehohäviöitä. Kun valo kulkee valokanavan 80 läpi yhteen suuntaan s_1 , ensimmäisestä harjannevalokanavasta 81 tulevan optisen kenttäjakauman, erityisesti muodon $m = 0$ kenttäjakauman, ensimmäisessä kerroksessa 80^1 oleva teho-osuus siirtyy vähitellen kapenevasta kiilamaisesta ensimmäisestä kerroksesta 80^1 sen alla oleviin kerroksiin 80^2 , 80^3 ja edelleen toiseen harjannevalokanavaan 82, erityisesti muodon $m = 0$ kenttäjakaumaan. Vastaavasti, mutta päinvastaisessa järjestyksessä, optinen

teho siirtyy toisesta harjannevalokanavasta 82 ensimmäiseen 81, kun valo kulkee toiseen suuntaan s_2 .

Valokanavan 80 ensimmäisen kerroksen 80^1 kärki $80k^1$ ei voi olla äärettömän terävä, joten se aiheuttaa valokanavarakenteeseen pienen epäjatkuvuuskohdan. Valokanavan 80 toisen kerroksen 80^2 leveys l_{80b} järjestetään ensimmäisen kerroksen 80^1 kärjen $80k^1$ kohdalla edullisesti riittävän leveäksi, kuten esim. $l_{80b} = 5 - 10 \mu m$, jolloin kärjen äärellinen terävyys ja pieni valmistusvaiheessa tapahtunut kohdistusepätarkkuus ensimmäisen ja toisen kerroksen 80^1 , 80^2 välillä eivät aiheuta merkittävää adiabaattisuuden menetystä.

10 Esitetyssä sovellusesimerkissä kolmas valokanava 80 ja sen yhdistämät valokanavat 81, 82 ovat pystysuuntaiseen keskitasoonsa nähden symmetrisiä.

Kolmannen valokanavan 80 ja siihen liitettyjen tunnettujen harjannevalokanavien 81, 82 valmistus toteutetaan käyttäen hyväksi kahta, kolmatta ja neljättä, prosessikuviota, kuten prosessi- tai valotusmaskia 83, 84. Maskit 83, 84 on esitetty kuviossa 8 havainnollisesti keksinnön mukaisen kolmannen valokanavan 80 yläpuolella periaatteessa samalla tavalla kuin maskit kuvion 6 sovelluksessa. Kolmas maski 83 on kiilamainen; sen toinen pää 83b on terävä kärki. Kolmannen maskin 83 ensimmäinen pää 83a vastaa leveydeltään l_{83a} ensimmäisen harjannevalokanavan 81 harjanteen 81^1 leveyttä l_{81a} ensimmäistä liitoskohtaa 801 vastaavassa maskikohdassa 801a ja siitä edelleen ensimmäisen harjannevalokanavan 81 suuntaan poispäin kolmannesta valokanavasta 80. Terävän kärjen 83b ja maskikohdan 801a välillä kolmannen maskin 83 leveys l_{83} vastaa kolmannen valokanavan 80 ensimmäinen kerroksen 80^1 muuttuvaa leveyttä l_{80a} .

25 Neljäs maski 84 vastaa toisesta päästään 84b leveydeltään l_{84b} toisen harjannevalokanavan 82 harjanteen 82^1 leveyttä l_{82a} . Toista liitoskohtaa 802 vastaavasta toisesta maskikohdasta 802b kohti ensimmäistä päätä 84a neljäs maski 84 levenee ja sen leveys l_{84} on yhtä suuri kuin harjannevalokanavat 81, 82 yhdistävän kolmannen valokanavan 80 toisen kerroksen 80^2 leveys l_{80b} aina ensimmäistä liitoskohtaa 801 vastaavaan ensimmäiseen maskikohtaan 801b asti, josta eteenpäin se tässä sovelluksessa levenee edelleen samalla tavalla kuin maskikohtien 801b, 802b välillä. Ensimmäisen maskikohdan 801b jälkeen esitettyyn eli harjannevalokanavan 81 suuntaan neljännen maskin 84 leveys l_{84a} on niin paljon harjannevalokanavan 81 leveyttä suurempi ettei sen suuruudella sinänsä ole merkittävää vaikutusta valokanavan toimintaan. Siksi voidaan sanoa, että liitoskohdassa 801 neljännen maskin 84 leveys l_{84a} vastaa leveydeltään harjannevalokanavan 81 kantaosan 81^2 äärellistä leveyttä.

Kolmannen valokanavan 80 toiminta ei toisen valokanavan 60 tapaan merkittävästi muutu pienten maskikohdistusvirheiden takia, sillä mitään maskikohtia ei tarvitse ehdottoman tarkasti kohdistaa toisiinsa nähden. Kohdistusvirheet korkeintaan hieman muuttavat liitoskohtien 801 ja 802 välistä etäisyyttä sekä kärjen $80k^1$ etäisyyttä e ja tekevät kolmannen valokanavan 80 hieman pystysuuntaisen keskiakselinsa suhteen epäsymmetriseksi. Sopivia maskikuvioita käyttämällä kolmas valokanava 80 pysyy tällöinkin riittävän adiabaattisena ja pienihäviöisenä.

Kolmatta ja neljättä valotusmaskia 83, 84 käytetään kolmannen valokanavan 80 ja siihen liittyvien valokanavien 81, 82 valmistuksessa samalla tavalla kuin ensimmäistä ja toista valotusmaskia 66, 67 käytetään toisen valokanavan 60 ja siihen liittyvien valokanavien 61, 62 valmistuksessa, kuten kuvion 6 yhteydessä on selostettu. Tällöin käytetään edullisesti edellä kuvion 4 yhteydessä kuvattua valmistustekniikkaa. Valmistuksessa kolmannen maskin 83 käyttöä seuraavassa ensimmäisen käsittelykierroksen syövytysvaiheessa 45 (vrt. kuvio 4) syövytys toteutetaan kolmanteen syvyyteen $h_3 = h_{81h} = h_{80a}$, jolloin kolmannen valokanavan 80 ensimmäinen kerros 80^1 ja ensimmäisen harjannevalokanavan 81 harjanne 81^1 saadaan erotettua ydinkerroksesta 7c. Ensimmäisessä syövytysvaiheessa poistetut alueet 85a, 85b on havainnollisesti merkitty katkoviivoin kuvioihin 9A, 9B ja 9C. Neljännen maskin 84 käyttöä seuraavassa toisen käsittelykierroksen syövytysvaiheessa syövytys toteutetaan toisella syövytysalueella neljänteen syvyyteen $h_4 = h_{82h} = h_{80b}$, jolloin kolmannen valokanavan 80 toinen kerros 80^2 ja toisen harjannevalokanavan 82 harjanne 82^1 saadaan erotettua vastaavasti ydinkerroksesta 7c. Kolmas valokanava 80 yhdessä toisen harjannevalokanavan 82 kanssa saa lopullisen muotonsa. Toisessa syövytysvaiheessa poistetut alueet 86a, 86b on havainnollisesti merkitty katkoviivoin kuvioihin 9B ja 9C.

Vaihtoehtoisesti kolmatta ja neljättä maskia 83, 84 voidaan käyttää myös toisessa järjestyksessä; ensin neljättä maskia 84 ja sitten vasta kolmatta 83. Lopputulos on luonnollisesti samanlainen, kun pidetään kiinni kunkin maskin 83, 84 vastaavasta syövytysyvytydestä h_3, h_4 .

Keksinnön mukainen valokanava 90, jota seuraavassa kutsutaan neljänneksi valokanavaksi, on esitetty osittain katkoviivoin perspektiivikuvana kuviossa 8 ja sen poikkileikkaus kuviossa 9B. Tämä valokanava 90 on muunnosvalokanava, joka on järjestetty kahden erilaisen, ensimmäisen valokanavan eli harjannevalokanavan 81a ja toisen valokanavan eli suorakaidevalokanavan 82a väliin. Ensimmäinen valokanava 81a, kuvio 9A, eroaa toisesta valokanavasta 82a, kuvio 9C, niin korkeuden h_{81h}, h_{82h} kuin leveydenkin l_{81a}, l_{82a} suhteen. Neljäs valokanava on 90 on toteutettu

tasomaiselle alustalle 7, kuten edellä esitetyt valokanavan sovellusmuodot. Alustaksi 7 soveltuu erityisesti SOI-kiekkotai vastaava. Alustan päälle on valmiiksi järjestetty ydinkerros 7c, johon varsinainen valokanava 90 valmistuksessa järjestetään, kuten kuviossa 3B esitetään. Voidaan todeta, että ainoa olennainen ero kolmannen ja neljännän valokanavan 80, 90 välillä on se, että neljännessä valokanavasta 90 puuttuu kolmannen valokanavan 80 alin kerros 80^3 . Neljännessä valokanavan 90 ydinosassa 900 on vain kaksi kerrosta, jotka vastaavat kuvion 8 esimerkissä kolmannen valokanavan 80 ensimmäistä ja toista kerrosta 80^1 , 80^2 ja niistä ja niiden osista käytetään samoja viitenumeroita. Kuten kuvioista 8 ja leikkauskuvioista 9A, 9B, 9C käy ilmi, (katkoviivoin piirretty) puskurikerros 7b on tällöin välittömästi ydinosan 900 alapuolella.

Neljännessä valokanavassa 90 on kaksi samasta materiaalista, edullisimmin puolijohdemateriaalista, kuten piistä, toteutettua päällekkäistä ainekerrosta 80^1 , 80^2 , jotka muodostavat sen ydinosan 900. Kerrokset tulee ymmärtää samalla tavalla keksintöä havainnollistaviksi hypoteettisiksi käsitteiksi kuin edellä kuvion 3A valokanavaa 5 selostettaessa. Valokanavan 90 kahdella kerroksella, ensimmäisellä ja toisella kerroksella 80^1 , 80^2 , on eri leveydet l_{80a} , l_{80b} , jolloin valokanavan 80 reunoissa $80a$, $80b$ on portaat 6 ; 6^{1a} , 6^{2a} ; 6^{1b} , 6^{2b} .

Neljännessä valokanavassa 90 on ensimmäisessä päässä kaksi kerrosta 80^1 , 80^2 ja toisessa päässä yksi kerros 80^2 . Valokanavan 90 ylimmäisen eli ensimmäisen kerroksen 80^1 korkeus h_{80a} on yhtä suuri kuin ensimmäisen valokanavan eli harjannevalokanavan 81a harjanteen 81^1 korkeus h_{81h} , ja toisen kerroksen 80^2 korkeus h_{80b} on yhtä suuri kuin toisen valokanavan eli suorakaidevalokanavan 82a ulokkeen 82^1 korkeus h_{82h} . Ensimmäisen harjannevalokanavan 81a kantaosan 81^2 korkeus h_{81k2} on yhtä suuri kuin neljännessä valokanavan 90 toisen kerroksen 80^2 korkeus h_{80b} .

Neljännän valokanavan 90 kerrosten 80^1 , 80^2 leveydet on järjestetty muuttumaan kuvion 8 sovellusesimerkissä ensimmäisen ja toisen valokanavan 81a, 82a välissä siten, että valokanavan 90 ylin kerros 80^1 alkaa kanavien pituussuunnassa (tässä tapauksessa valon etenemissuunta) ensimmäisestä valokanavasta eli harjannevalokanavasta 81a ja ensimmäisestä liitoskohdasta 801 yhtä leveänä kuin tämän harjanne 81^1 so. $l_{80a} = l_{81a}$, kapenee kohti toista valokanavaa eli suorakaidevalokanavaa 82a ja päättyy kärkeen $80k^1$ etäisyydellä e toisesta valokanavasta 82a. Etäisyys e on sopivasti valittavissa sovelluksesta ja neljännessä kanavan 90 pituudesta riippuen. Ylimmän kerroksen 80^1 korkeus h_{80a} on vakio, jolloin tämä kerros muodostaa terävän kiihkeyden särmän valokanavan 90 toisen kerroksen 80^2 päälle. Neljännessä valokanavan 90 toinen kerros 80^2 yhtyy ensimmäisen valokanavan 81a kantaosaan 81^2 en-

simmäisessä liitoskohdassa 801. Toinen kerros 80^2 kapenee sopivasta kantaosan 81^2 äärellisestä leveydestä kohti toisen valokanavan 82a leveyttä l_{82a} . Toinen kerros 80^2 liittyy toisen valokanavan 82a ulokkeeseen 82^1 ja sen leveys l_{80b} on tällöin toisessa liitoskohdassa 802 yhtä suuri kuin ulokkeen 82^1 leveys l_{82a} .

- 5 Neljäs valokanava 90 toimii kumpaankin sen pituussuuntaiseen valon etenemissuuntaan s_1 , s_2 ja välittää näin sen läpi kulkevan valon ensimmäisestä harjannevalokanavasta 81a toiseen suorakaidevalokanavaan 82a tai päinvastoin. Neljäs valokanava 90 on toteutettu sen muuttuvien kerrosten 80^1 , 80^2 osalta leveyksien l_{80a} , l_{80b} suhteen siten, että ne muuttuvat edullisimmin suoraviivaisesti valokanavien 81a, 82a välissä.
- 10 Neljännen valokanavan 90 ja siihen liitettyjen tunnettujen valokanavien 81a, 82a valmistus toteutetaan käyttäen hyväksi kahta prosessikuviota, prosessi- tai valotusmaskia 83, 84, kuten kolmannen valokanavan 80 valmistuksen yhteydessä selostettiin ja kuvion 4 yhteydessä kuvattua valmistustekniikkaa. Ainoa ero kolmannen valokanavan 80 valmistukseen nähden on se, että etsaussyvyys h_{80b} , joka vastaa toisen kerroksen 80^2 korkeutta, ulottuu puskurikerrokseen 7b eikä neljännessä valokanavassa 90 ole siis kolmatta kerrosta 80^3 . Kaikki, mitä edellä on todettu kolmannelle valokanavalle 80 ja sen valmistuksesta, sopii näin ollen myös neljännelle valokanavalle 90.

- 20 Toisen, kolmannen ja neljännen valokanavan 60; 80; 90 eräänä merkittävänä etuna on, että niiden edellä esitetyissä valmistusprosesseissa vain yksi maski 66; 83 määrää yhden liitettävän valokanavan 62; 81 dimensiot (so. erityisesti leveys ja pituus, mutta periaatteessa myös korkeus). Näin ollen valokanavan rajausta voidaan siirtää maskitasolta toiselle, mikä helpottaa huomattavasti optisen integroidun piirin suunnittelua ja valokanavan eri porrasten ja kerrosten kohdistamista toisiinsa. Etuna on myös, että maskien, tai niitä vastaavien prosessikuvien, kohdistamisessa toisiinsa ei myöskään vaadita erityisen suurta tarkkuutta, kuten edellä on havainnollisesti selostettu.

- 30 Valo etenee keksinnön mukaisen valokanavan kahdessa tai useammassa kerroksessa siten, että kerrosten porrasmaiset sivut pitävät valoaallon koossa ja sallivat sen edetä pienin häviöin valokanavan pituussuuntaan, erityisesti silloin, kun valokanava on etenemissuunnassaan suora. Valokanavan kaarroksissa valon kenttäjakautuma ei kuitenkaan pysy enää kanavan keskellä, vaan se siirtyy kohti valokanavan ulkolaitaa ja eksponentiaalisesti vaimeneva kentän häntä muuttuu kuperaan ulkosivun puolella säteileväksi; etenemishäviöt, tässä tapauksessa ns. kaarrehäviöt, kasvavat. Keksinnön

nön mukaista valokanavaa voidaan soveltaa valokanaviin, joiden suuntaa ja samalla valon etenemissuuntaa, on määrä muuttaa.

Keksinnön mukainen valokanava 100, jota seuraavassa kutsutaan viidenneksi valokanavaksi, on esitetty kaaviomaisesti päältä katsottuna kuviossa 10. Tätä valokanavaa 100 käytetään valon etenemissuunnan muuttamiseen ja/tai valokanavan siirtämiseen sen etenemissuuntaa vasten kohtisuorassa tasossa. Erityisesti tämän valokanavan avulla voidaan joustavasti ja hallitusti valon etenemissuuntaa muuttaa pienellä etenemismatkalla ilman merkittäviä tehohäviöitä sen läpi kulkevassa valossa, erityisesti perusmuodossa $m = 0$ etenevässä valossa.

- 10 Viides valokanava 100 on sovitettu esitetyssä sovellusesimerkissä kahden harjannevalokanavan 104, 105 väliin. Valon kulkusuunta on ensimmäisestä harjannevalokanavasta 104 viidennen valokanavan 100 läpi toiseen harjannevalokanavaan 105 tai päinvastoin. Viides valokanava 100 on muodostettu joukosta, tässä sovellusmuodossa kahdesta, identtisestä valokanavaelementistä 101; 101a, 101b, jotka on järjestetty peräkkäin vastakkaissuuntaisesti toisiaan vasten. Valokanavaelementin 100; 101a, 101b ydinosa 1010 on toteutettu yhdestä ja samasta materiaalista ja siten, että ydinosan poikkileikkaus valon etenemissuuntaan z nähden poikittaisessa tasossa on ainakin yhdeltä reunalta 130a moniportainen 121a, 122a ja ylhäältä katsottuna kaareva, erityisesti kupera. Eräs edullinen valokanavaelementti 101 on esitetty kaaviomaisesti päältä katsottuna kuviossa 11 ja sen suurennettuja poikkileikkauksia G – G, H – H kuvioissa 12A ja 12B.

- Valokanavaelementin 101 ainakin toinen pitkittäinen sivu eli reuna 130; 130a, ylhäältä katsottuna erityisesti ulospäin kupera reuna, on moniportainen, kuten kuvioissa 11, 12A ja 12B käy havainnollisesti ilmi. Valokanavaelementin 101 reunoilla 130; 130a, 130b olevat portaat ja niiden lukumäärä voivat olla erilaisia, mutta ulkoreunalla eli kuperalla reunalla 130; 130a on aina vähintään kaksi porrasta, ensimmäinen ja toinen porrast 121a, 122a, eli harjannevalokanavaan, kuvio 12C, nähden vähintään yksi lisäporras 122a. Ulkoreunalla 130; 130a oleva lisäporras 122a tai lisäportaat vaikuttavat valokanavassa etenevään valoon vähentäen valon kenttäjakauman, erityisesti perusmuodon $m = 0$ kenttäjakauman, siirtymistä kohti kaarevan valokanavan ulkoreunaa ja muuttumista merkittävästi säteileväksi (häviölliseksi) kenttämuodoksi. Lisäportaot siis vähentävät kaarros-häviöitä ja mahdollistavat aiempaa pienempien kaarrossäteiden käyttämisen. Niiden avulla valokanavan kaarevuussäteen ja suunnan muutokset tapahtuvat adiabaattisesti ilman heijastuksia tai valokanavan muotojen välistä tehonsiirtoa ja eri valokanavaelementtien yhdistäminen toisiinsa ja suoriin valokanaviin ei ole lainkaan herkkä eri maskien välisille kohdis-

tusepäätarkkuuksille.

- Valokanavaelementin 101 portaat 121a, 122a ovat muuttuvan etäisyyden päässä r toisistaan. Lisäksi on edullista, että valokanavaelementin 101 moniportainen reuna 130a on järjestetty kaartumaan siten, että ensimmäisen portaan 121a kaarevuussäde
- 5 R_{101} pienenee tasaisesti valokanavaelementin ensimmäisen päädyn 102 maksimiarvosta $R_{101\max}$ valokanavaelementin toisen päädyn 103 minimi arvoon $R_{101\min}$ ja että seuraavan portaan 122a etäisyys r ensimmäisestä portaasta 121a on maksimissaan r_{\max} valokanavaelementin 101 ensimmäisessä päädyssä 102 ja vastaavasti se saavuttaa minimin r_{\min} valokanavaelementin toisessa päädyssä 103.
- 10 Valokanavaelementti 101 on toteutettu tasomaiselle alustalle 7, kuten edellä esitetyt valokanavan sovellusmuodot. Alusta 7, jolle keksinnön mukainen valokanavaelementti 101 ja niistä koottu valokanava 100 toteutetaan, on perusmateriaaliltaan edullisesti puolijohdetta, edullisimmin puhdasta piitä. Alustaksi 7 soveltuu erityisesti SOI-kiekkotai vastaava. Alustan päälle on valmiiksi järjestetty ydinkerros 7c, johon
- 15 varsinainen valokanava 100 valmistuksessa järjestetään, kuten kuviossa 3B esitetään.
- Eräs edullinen valokanavaelementin 101 sovellusmuoto on esitetty kuvioissa 11, 12A ja 12B. Se käsittää ydinosan, joka on toteutettu kahdesta samasta materiaalista olevasta ainekerroksesta 101^1 , 101^2 , jotka liittyvät saumattomasti toisiinsa ja jotka
- 20 muodostavat sen ydinosan 1010. Kerrokset tulee ymmärtää samalla tavalla keksintöä havainnollistaviksi hypoteettisiksi käsitteiksi kuin edellä kuvion 3A valokanavaa 5 selostettaessa. Ensimmäinen kerros 101^1 on muodostettu ulokkeeksi, jonka poikkeileikkaus on edullisimmin muodoltaan suorakaide, lähellä suorakaidetta oleva puolisuunnikas tai neliö. Ulokkeen 101^1 korkeus h_{101a} on sama kuin valokanavaelementtiin (yhteen tai useamman valokanavaelementin 101; 101a, 101b muodostamaan
- 25 ryhmään) liitettävän harjannevalokanavan 104 (vrt. kuvio 12C) ulokkeen 104^1 korkeus h_{104a} . Ulokkeen 101^1 leveys l_{101} voi muuttua pitkin valokanavaa, mutta valokanavaelementin ensimmäisessä päädyssä 102 se on järjestetty vastaamaan valokanavaelementtiin liitettävän harjannevalokanavan 104 ulokkeen 104^1 leveyttä l_{104a} .
- 30 Toisen kerroksen 101^2 korkeus h_{101b} on yhtä suuri kuin valokanavaelementtiin 101 liitettävän harjannevalokanavan 104 kantaosan 104^2 korkeus h_{104b} .
- Kuvioissa 11, 12A ja 12B esitetyn valokanavaelementin 101 uloke 101^1 on kaareva. Se on järjestetty kohtisuoraan ylhäältä katsottuna kaaren k muotoon. Uloke 101^1 on lisäksi järjestetty kaartumaan edullisimmassa sovellusmuodossa siten, että sen kaarevuussäde R_{101} pienenee tasaisesti ulokkeen ja samalla valokanavaelementin en-
- 35

- simmäisen päädyn 102 maksimiarvosta $R_{101\max}$ kuten äärettömästä tai ainakin likipitään äärettömästä arvosta, ulokkeen ja samalla valokanavaelementin toisen päädyn 103 äärelliseen minimiarvoon $R_{101\min}$. Kaarevuussäde ja kaaren k perusmuoto määritellään ulokkeen 101^1 toisen ulomman pitkän sivun eli ulkoreunan 120a mukaan, sillä pieniä kaarevuussäteitä käytettäessä ulkoreunalla 120a on selvästi sisäreunaa 120b suurempi vaikutus valon kulkuun. Ulokkeen sisäreunan paikka määräytyy tällöin yksikäsitteisesti ulkoreunan paikan ja ulokkeen leveyden l_{101} perusteella. Ulokkeen 101^1 päätyjen 102, 103 muodostamat liitospinnat ovat kaarevuussäteiden $R_{101\max}$, $R_{101\min}$ suunnassa olevia pintoja. Valokanavaelementin 101 toteuttama etenemissuunnan muutoskulma α on yhtä suuri kuin ensimmäisen ja toisen päädyn 102, 103 liitospintojen välinen kulma β . On kuitenkin huomattava, että valokanavaelementtejä 101; 101a, 101b on järjestettävä aina pareittain ja vastakkaissuuntaisesti yhteen, kuten jäljempänä tarkemmin selostetaan, varsinaisen suunnanmuutos- ja/tai yhdensuuntaissiirrosvalokanavan toteuttamiseksi.
- 15 Valokanavaelementin 101 ulkoreunalla 130; 130a on kaksi porrasta 121a, 122a ja sisäreunalla 130; 130b on yksi korras 121b. Kyseinen rakenne voidaan toteuttaa yksinkertaisesti syövyttämällä toiseen kerrokseen 101^2 ura 110, joka on muuttuvan etäisyyden r päässä ulokkeesta 101^1 . Valokanavaelementin 101 toisella reunalla 130; 130a on tällöin kaksi porrasta 121a, 122a (vrt. kuvio 12A ja 12B). Ensimmäinen korras 121a muodostuu ulokkeen 101^1 suorasta yläosasta, joka on portaan askelmataso 1210, ja ulkoreunasta 120a, joka on portaan noususeinämä. Toinen korras eli lisäkorras 122a muodostuu ulokkeen 101^1 ja uran 110 välisestä alueesta, joka on portaan askelmataso 1220, ja uran 110 sisäreunasta 110a, joka on portaan noususeinämä. Uran 110 sisäreunaan 110a nähden vastakkaisella puolella olevalla ulkoreunalla ei ole välttämättä mitään merkittävää vaikutusta valokanavaelementin 101 toimintaan, joten uran leveys l_{110} voidaan joissakin tapauksissa ajatella jopa äärettömän suureksi. Kaventamalla ura 110 paikallisesti hyvin kapeaksi voidaan uran vaikutusta joskus kuitenkin merkittävästi pienentää ja siten esimerkiksi vähentää päädyn 102 liitospinnan epäjatkuvuuden aiheuttamaa adiabaattisuuden menetystä. Ura 110 on poikkileikkaukseltaan edullisimmin suorakaide, lähellä suorakaidetta oleva puolisuunnikas tai neliö. Uran 110 syvyys d_{110} , joka vastaa sisäreunan 110a korkeutta, vaihtelee sovelluksen mukaan ja se voi ulottua jopa ydinkerroksen alareunaan asti.
- 30 Uran 110 etäisyys r , ja samalla toisen portaan 122a askelmatason 1220 leveys, ulokkeesta 101^1 on ulokkeen ulkoreunan 120a ja uran sisäreunan 110a välinen etäisyys eli niitä vastaavien portaiden 121a, 122a väli. Uran rakenne määräytyy yksikäsitteisesti ulokkeen 101^1 ulkoreunan 120a paikan, uran ja ulokkeen välisen etäisyyden r

- sekä uran leveyden perusteella. Ura 110 on järjestetty kaartumaan edullisimmassa sovellusmuodossa siten, että sen etäisyys r ulokkeesta 101^1 pienenee (asteittain) tasaisesti ulokkeen ensimmäisen päädyn 102 maksimiarvosta r_{\max} toisen päädyn 103 äärelliseen minimi arvoon r_{\min} . Etäisyyden minimiarvo voi olla jopa nolla, jolloin
- 5 osassa valokanavaelementin kaarta k ja ulkolaitaa portaat yhdistyvät yhdeksi suureksi portaaksi, jonka korkeus on yhdistyvien portaiden 121a, 122a korkeuksien summa $h_{101a} + d_{110}$.

- Valokanavaelementin 101 ensimmäinen pääty 102 on tarkoitettu liitettäväksi suoraan harjannevalokanavaan, joten uran 110 etäisyys $r = r_{\max}$ ensimmäisessä päädyssä
- 10 on niin suuri (numeerisesti laskettavissa ja se on esim. kolme kertaa tai enemmän ulokkeen leveys l_{101}), että se ei merkittävästi vaikuta valokanavassa etenevään valoon. Mitä voimakkaammin uloke 101 ja samalla valokanava kääntyy kaarevuussäteen R_{101} pienentyessä ja lähetessä minimiarvoaan $R_{101\min}$, sitä pienemmäksi myös uran 110 etäisyys r ulokkeesta 101^1 muodostuu ja voimakkaammin ura 110 ja erityisesti sen sisäreuna 110a vaikuttaa valokanavassa etenevään valoon estäen sitä karkaamasta kääntyvästä valokanavasta. Yleisessä tapauksessa uran tilalla olevat yksi tai useampi harjannevalokanavaan nähden ylimääräinen porras vaikuttavat samalla periaatteella eli niiden etäisyys ulokkeesta 101^1 on sitä pienempi mitä pienempi on valokanavan kaarrossäde.
- 15

- 20 Valokanavaelementin 101 edullinen sovellusesimerkki selostettiin edellä urarakenteen avulla, mutta valokanavaelementin 101 rakenne voitaisiin kuvata vaihtoehtoisesti joko moniportaisena tai monikerroksisena rakenteena.

- Valokanavaelementin valmistus toteutetaan käyttäen hyväksi vähintään kahta eri valotusmaskia, tai niitä vastaavia prosessikuvioita, samalla tavalla kuin on edellä kuvioiden 4, 5A, 5B, 5C ja 5D sekä toisen ja kolmannen valokanavan 60, 80 yhteydessä selostettu. Kuvioiden 4, 5A, 5B, 5C ja 5D mukaisessa valmistusprosessissa lähinnä vain alustan 7 ydinkerroksen 7c pystytason Y – Y ensimmäistä puolta eli monipor-
 25 taista puolta käsitellään useampia kertoja kuin toista puolta, esim. valokanavaelementin 101 portaiden 121a, 122a muodostamiseksi. Valokanavan ydinosa 1010 muodostetaan tällöin ydinkerroksesta 7c pystytasoon Y – Y nähden epäsymmetriseksi. Esimerkiksi edellä esitetyssä sovellusesimerkissä uloke 101^1 ja ura 110 on määritelty eri maskien avulla ja ne on syövytetty eri käsittelykierroksilla. Rajallisen maskinkohdistustarkkuuden takia maskit, tai niitä vastaavat prosessikuviot, voivat hieman siirtyä toisiinsa nähden valokanavaa valmistettaessa. Huolellisesti suunnitel-
 30 lun valokanavaelementin 101 toiminta ei kuitenkaan merkittävästi muutu pienten kohdistusvirheiden takia, sillä mitään maskikohtia ei tarvitse ehdottoman tarkasti
- 35

5 kohdistaa toisiinsa nähden. Kohdistusvirheet muuttavat ulokkeen 101^1 ja uran 110 välistä etäisyyttä r , tai yleisessä tapauksessa vierekkäisten portaiden välisiä etäisyyksiä, mutta esimerkiksi suunnittelemalla uran minimietäisyys r_{\min} hieman kohdistusepä tarkkuutta suuremmaksi vältetään uran ja ulokkeen kohdistuminen vahingossa päällekkäin.

10 Rajallisen kohdistustarkkuuden vaikutus ulokkeen 101^1 ja uran 110 väliseen etäisyyteen, tai yleisessä tapauksessa vierekkäisten portaiden välisiin etäisyyksiin, voidaan poistaa edullisella muunnellulla versiolla eli käyttämällä eri käsittelykierroksilla yhteistä kovamaskia, kuten toisen valokanavan 60 yhteydessä on edellä kuvattu. Tällöin uloketta 101^1 ja uraa 110, tai yleisessä tapauksessa vierekkäisiä portaita, vastaavat maskien reunat suunnitellaan risteämään toisensa loivassa kulmassa sopivassa kohdassa valokanavaelementtiä 101. Tällöin vain uran 110 sisäreuna 110a määrittelee valokanavaelementin ulkoreunan paikan risteyskohdan ja toisen päädyn 103 välillä. Tällä välillä muodostuu siis valokanavaelementin ulkoreunaan yhteinen porras, 15 jonka syvyys on eri syövytysvyökyksien summa. Etuna tässä sovellusesimerkissä on se, että eri maskien kohdistusepä tarkkuuden vaikutus valokanavan toimintaan etenkin lähellä valokanavaelementin 101 toista päätä 103 pienenee, tai jopa kokonaan häviää.

20 Kuten edellä on jo todettu valokanava 100 eli viides valokanava on muodostettu kahdesta identtisestä valokanavaelementistä 101; 101a, 101b. Ne on liitetty toisiinsa vastakkaisista päädyistä; kummankin valokanavaelementin toiset päädyt 103; 103a, 103b on liitetty suoraan ja saumattomasti toisiinsa. Valokanavaelementtien 101; 101a, 101b ensimmäiset päädyt 102; 102a, 102b vuorostaan liitetään saumattomasti suoriin härjannevalokanaviin 104, 105. Valokanavaelementtien 101; 101a, 101b välisissä liitoksissa viides valokanava 100 on täysin jatkuva eivätkä edes maskikohdistusvirheet aiheuta kyseisiin liitoksiin mitään epäjatkuvuutta. Valokanavaelementtien ja suorien valokanavien välisissä liitoksissa ylimääräiset porrasrakenteet (tai urat) ja 25 äärellinen kaarevuussäteen maksimi $R_{101\max}$ aiheuttavat rakenteeseen epäjatkuvuutta, mutta asettamalla portaat riittävän kauaksi ulokkeesta 101^1 ja kaarevuussäde $R_{101\max}$ riittävän suureksi saadaan niiden vaikutus valokanavan toimintaan merkityksettömän pieneksi. 30

35 Keksinnön mukainen valokanava 200, jota seuraavassa kutsutaan kuudenneksi valokanavaksi, on esitetty päältä katsottuna kuviossa 13. Tämän valokanavan avulla toteutetaan yhdensuuntaissiirtymä kahden suoran valokanavan 201, 202 välillä. Suorien valokanavien 201, 202 välille saadaan muodostettua S-kaarros, jonka ansiosta toinen valokanava 202 on saman suuntainen kuin ensimmäinen valokanava 201,

mutta sitä on siirretty ennalta määrätty matka e sivusuunnassa.

Kuudes valokanava 200 on muodostettu valokanavaelementeistä 101, kuten viides valokanava; tässä sovelluksessa valokanavaelementtejä on yhdistetty pareittain peräkkäin vastakkaissuuntaisesti kaiken kaikkiaan neljä kappaletta 101c, 101d, 101e, 101f. Kaksi peräkkäistä valokanavaelementtiä 101c, 101d ja vastaavasti 101e, 101f on yhdistetty toisiinsa samalla tavalla kuin kuvion 10 valokanavassa 100 valokanavaelementit 101a, 101b. Valokanavaelementtiparit 101c, 101d ja 101e, 101f on vuorostaan yhdistetty toisiinsa keskimmäisten valokanavaelementtien 101d, 101e ensimmäisistä päädyistä 102d, 102e. Sinänsä tunnetut suorat harjannevalokanavat, tuleva ja lähtevä harjannevalokanava 201 ja 202, on yhdistetty kuudenteen valokanavaan 200 ulommaisten valokanavaelementtien 101c, 101f ensimmäisistä päädyistä 102c, 102f. Kuudennessa valokanavassa 200 ainoastaan valokanavaelementtien 101d, 101e välinen liitos poikkeaa viidennen valokanavan 100 liitoksista. Mikäli siinäkin on valokanavaelementtien ylimääräiset porraskenteet (tai urat) asetettu riittävän kauaksi ulokkeesta 101¹ ja äärellinen kaarrossäteen maksimi $R_{101\max}$ riittävän suureksi niin niihin mahdollisesti liittyvä epäjatkuvuus ei vaikuta merkittävästi valokanavan toimintaan.

Keksintöä ei rajata pelkästään edellä esitettyjä sovellusesimerkkejä koskevaksi, vaan monet muunnokset ovat mahdollisia pysyttäessä patenttivaatimusten määrittelemän keksinnöllisen ajatuksen puitteissa. Keksintöä ei myöskään rajata pelkästään yksittäisiä sovelluksia koskevaksi, sillä keksinnön mukaisia moniportaisia valokanavia ja edellä esitettyjä sovellusesimerkkejä voidaan integroiduissa optisissa piireissä yhdistellä sekä peräkkäin että jopa päällekkäin.

Viitejulkaisut:

/1/ Hiroshi Nishihara, Masamitsu Haruna and Toshiaki Suhara: "Optical integrated circuits", McGraw-Hill Book Company, ISBN 0-07-046092-2, 1989

/2/ Denis Donlagic and Brian Culshaw: "Propagation of the fundamental mode in curved graded index multimode fiber and its application in sensor systems", Journal of Lightwave Technology, vol 18, pp.334-342, 2000

Patenttivaatimukset

1. Optinen valokanava, joka on osa integroitua optista piiriä, joka valokanava on järjestetty tasomaiselle alustalle ja jossa on valoa määrättyyn suuntaan, etenemissuuntaan, johtava ydinosa, tunnettu siitä, että optisen valokanavan (5; 60; 80; 100; 200) ydinosa on toteutettu yhdestä ja samasta materiaalista ja siten, että ydinosan poikkileikkaus valon etenemissuuntaan (z) nähden poikittaisessa tasossa on ainakin yhdeltä reunalta (5a, 5b; 60a, 60b; 80a, 80b; 130a) moniportainen (6^{1a} , 6^{2a} , 6^{3a} , 6^{1b} , 6^{2b} , 6^{3b} , 121a, 122a).
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että optisen valokanavan (5; 60; 80) poikkileikkaus valon etenemissuuntaan (z) nähden poikittaisessa tasossa on molemmilta reunoilta (5a, 5b; 60a, 60b; 80a, 80b) moniportainen.
3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että optinen valokanava (5; 60; 80) on pystysuuntaiseen keskitasoonsa nähden symmetrinen.
4. Jonkin edeltävän patenttivaatimuksen mukainen valokanava, tunnettu siitä, että optinen valokanava (5; 60; 80; 100; 200) on puolijohdemateriaalia, edullisesti piitä.
5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että optinen valokanava (5; 60; 80; 100; 200) on toteutettu SOI-alustalle.
6. Jonkin edeltävän patenttivaatimuksen mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanava (60), joka on järjestetty sinänsä tunnettujen harjannevalokanavan (61) ja suorakaidevalokanavan (62) väliin, on toteutettu siten, että sen poikkileikkaus valon etenemissuuntaan (z) nähden poikittaisessa tasossa on molemmilta reunoilta (60a, 60b) moniportainen (6^{1a} , 6^{2a} ; 6^{1b} , 6^{2b}) ja siten, että siinä on kaksi eri leveyden (l_{60a} , l_{60b}) omaavaa kerrosta (60^1 , 60^2), joista ensimmäisen kerroksen (60^1) korkeus (h_{60a}) on yhtä suuri kuin harjannevalokanavan (61) harjanteen (61^1) korkeus (h_h) ja toisen kerroksen (60^2) korkeus (h_{60b}) on yhtä suuri kuin harjannevalokanavan (61) kantaosan (61^2) korkeus (h_k) ja jossa kerrosten (60^1 , 60^2) korkeuksien (h_{60a} , h_{60b}) summa on yhtä suuri kuin suorakaidevalokanavan (62) korkeus (h_s).
7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanavan (60) kerrosten (60^1 , 60^2) leveydet (l_{60a} , l_{60b}) on järjestetty muuttumaan suoraviivaisesti erilevyisten harjannevalokanavan (61) harjanteen ja suorakaidevalokanavan (62) suorakaiteen muotoisen ydinosan välissä niiden toisiinsa yhdistämiseksi valokanavan (60) avulla.

8. Jonkin edeltävän patenttivaatimuksen 1 - 5 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanava (80), joka on järjestetty sinänsä tunnettujen ensimmäisen ja toisen harjannevalokanavan (81, 82) väliin, on toteutettu siten, että sen poikkileikkaus valon etenemissuuntaan (z) nähden poikittaisessa tasossa on molemmilta reunoilta
 5 (80a, 80b) moniportainen (6 ; 6^{1a} , 6^{2a} ; 6^{1b} , 6^{2b}) ja siten, että siinä on kaksi eri leveyden (l_{80a} , l_{80b}) omaavaa kerrosta (80^1 , 80^2), joista ensimmäisen kerroksen (80^1) korkeus (h_{80a}) on yhtä suuri kuin ensimmäisen harjannevalokanavan (81) harjanteen (81^1) korkeus (h_{81h}) ja toisen kerroksen (80^2) korkeus (h_{80b}) on yhtä suuri kuin toisen harjannevalokanavan (82) harjanteen (82^1) korkeus (h_{82h}) ja jossa ensimmäinen kerros (80^1) on päältä katsottuna kiilan muotoinen ja järjestetty ulottumaan etäisyyden
 10 (e) päähän toisesta harjannevalokanavasta (82) ja jossa toinen kerros (80^2) on järjestetty yhtymään ensimmäisen harjannevalokanavan (81) kantaosaan (81^2) ja toisen harjannevalokanavan (82) harjanteeseen (82^1) ja jossa valokanavassa (80) on lisäksi kolmas kerros (80^3), joka on järjestetty yhtymään sekä ensimmäisen että toisen harjannevalokanavan (81, 82) kantaosaan (81^2 , 82^2).
 15

9. Jonkin edeltävän patenttivaatimuksen 1 - 5 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanava (90), joka on järjestetty sinänsä tunnettujen ensimmäisen eli harjanne- ja toisen eli suorakaidevalokanavan (81a, 82a) väliin, on toteutettu siten, että sen poikkileikkaus valon etenemissuuntaan (z) nähden poikittaisessa tasossa on molemmilta reunoilta (80a, 80b) moniportainen (6 ; 6^{1a} , 6^{2a} ; 6^{1b} , 6^{2b}) ja siten, että siinä on kaksi eri leveyden (l_{80a} , l_{80b}) omaavaa kerrosta (80^1 , 80^2), joista ensimmäisen kerroksen (80^1) korkeus (h_{80a}) on yhtä suuri kuin ensimmäisen harjannevalokanavan (81a) harjanteen (81^1) korkeus (h_{81h}) ja toisen kerroksen (80^2) korkeus (h_{80b}) on yhtä suuri kuin toisen suorakaidevalokanavan (82a) ulokkeen (82^1) korkeus (h_{82h}) ja jossa
 20 ensimmäinen kerros (80^1) on päältä katsottuna kiilan muotoinen ja järjestetty ulottumaan etäisyyden (e) päähän toisesta suorakaidevalokanavasta (82a) ja jossa toinen kerros (80^2) on järjestetty yhtymään ensimmäisen harjannevalokanavan (81a) kantaosaan (81^2) ja toisen suorakaidevalokanavan (82a) ulokkeeseen (82^1).
 25

10. Patenttivaatimuksen 8 tai 9 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanavan (80; 90) ensimmäisen ja toisen kerroksen (80^1 , 80^2) leveydet (l_{80a} , l_{80b}) on järjestetty muuttumaan suoraviivaisesti erilaiset mitat omaavien harjannevalokanavien (81, 82; 81a, 82a) välillä.
 30

11. Jonkin edeltävän patenttivaatimuksen 1 - 5 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanava (100; 200) on muodostettu joukosta identtisiä valokanavaelementtejä (101; 101a, 101b; 101c, 101d, 101e, 101f), jotka on järjestetty peräkkäin vastakkaissuuntaisesti toisiaan vasten, ja valokanavaelementin (100; 101a, 101b)
 35

ydinosa (1010) on toteutettu yhdestä ja samasta materiaalista ja siten, että ydinosan poikkileikkaus valon etenemissuuntaan (z) nähden poikittaisessa tasossa on ainakin yhdeltä reunalta (130a) moniportainen (121a, 122a) ja ylhäältä katsottuna kaareva, erityisesti kupera.

5 12. Patenttivaatimuksen 11 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanavaelementtejä (101; 101a, 101b; 101c, 101d, 101e, 101f) on parillinen lukumäärä.

13. Patenttivaatimuksen 12 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanavaelementtejä (101; 101a, 101b) on kaksi, joiden avulla valon kulkusuuntaa muutetaan.

10 14. Patenttivaatimuksen 12 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanavaelementtejä (101; 101c, 101d, 101e, 101f) on neljä, joiden avulla toteutetaan yhden-suuntaissiirtymä (e) suoran tulo- ja lähtövalokanavan (201, 202) välillä.

15 15. Valokanavaelementti optista valokanavaa varten, joka valokanava on osa integroitua optista piiriä, joka on järjestetty alustalle ja jossa on valoa määrättyyn suuntaan, etenemissuuntaan, johtava ydinosa, tunnettu siitä, että valokanavaelementin (100; 101a, 101b) ydinosa (1010) on toteutettu yhdestä ja samasta materiaalista ja siten, että ydinosan poikkileikkaus valon etenemissuuntaan (z) nähden poikittaisessa tasossa on ainakin yhdeltä reunalta (130a) moniportainen (121a, 122a) ja ylhäältä katsottuna kaareva, erityisesti kupera.

20 16. Patenttivaatimuksen 15 mukainen valokanavaelementti, tunnettu siitä, että portaat (121a, 122a) ovat muuttuvan etäisyyden päässä (r) toisistaan.

25 17. Patenttivaatimuksen 16 mukainen valokanavaelementti, tunnettu siitä, että valokanavaelementin (101) moniportainen reuna (130a) on järjestetty kaartumaan siten, että ensimmäisen portaan (121a) kaarevuussäde (R_{101}) pienenee tasaisesti valokanavaelementin ensimmäisen päädyn (102) maksimiarvosta ($R_{101\max}$) valokanavaelementin toisen päädyn (103) minimi arvoon ($R_{101\min}$) ja että seuraavan portaan (122a) etäisyys (r) ensimmäisestä portaasta (121a) on maksimissaan (r_{\max}) valokanavaelementin (101) ensimmäisessä päädyssä (102) ja vastaavasti se saavuttaa minimin (r_{\min}) valokanavaelementin toisessa päädyssä (103).

30 18. Jonkun edeltävän patenttivaatimuksen 15 -17 mukainen valokanavaelementti, tunnettu siitä, että valokanavaelementti (101) käsittää ydinosan (1010), joka on toteutettu kahdesta samaa materiaalia olevasta ainekerroksesta (101^1 , 101^2), jossa valokanavaelementissä (101) ensimmäinen kerros on muodostettu ylhäältä katsottuna

kaaren (k) muotoiseksi ulokkeeksi (101¹), jonka ulospäin kuperan sivu (130; 130a) muodostaa yhden portaan (121a) noususeinämän ja toiseen kerrokseen (101²) on järjestetty ainakin yksi lisäporras (122a).

5 19. Patenttivaatimuksen 18 mukainen valokanavaelementti, tunnettu siitä, että toiseen kerrokseen (101²) on järjestetty ura (110), jonka sisäreuna (110a) muodostaa lisäportaan (122a) noususeinämän.

20. Jonkin patenttivaatimuksen 16 – 19 mukainen valokanavaelementti, tunnettu siitä, että valokanavaelementin (101) ulokkeen (101¹) muodostama porras (121a) ja yksi tai useampi lisäporras (110a) on yhdistetty sopivassa kohdassa valokanavaelementin kaarta (k) yhdeksi portaaksi, jonka korkeus on yhdistyvien portaiden korkeuksien summa.

21. Valokanava, joka on toteutettu jonkin edeltävän patenttivaatimuksen 15 - 19 mukaisin valokanavaelementein, tunnettu siitä, että valokanava (100; 200) on muodostettu joukosta identtisiä valokanavaelementtejä (101; 101a, 101b; 101c, 101d, 101e, 101f), jotka on järjestetty peräkkäin vastakkaissuuntaisesti toisiaan vasten.

22. Patenttivaatimuksen 21 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanavaelementtejä (101; 101a, 101b; 101c, 101d, 101e, 101f) on parillinen lukumäärä.

20 23. Patenttivaatimuksen 22 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanavaelementtejä (101; 101a, 101b) on kaksi, joiden avulla valon kulkusuuntaa muutetaan.

24. Patenttivaatimuksen 22 mukainen valokanava, tunnettu siitä, että valokanavaelementtejä (101; 101c, 101d, 101e, 101f) on neljä, joiden avulla toteutetaan yhden-suuntaissiirtymä (e) suoran tulo- ja lähtövalokanavan (201, 202) välillä.

25 25. Menetelmä optisen valokanavan tai vastaavan valokanavaelementin valmistamiseksi alustalle, tunnettu siitä, että optinen valokanava tai vastaava valokanavaelementti valmistetaan sellaiselle alustalle (7), jonka päällä on valoa johtava ydinkerros (7c), jossa menetelmässä ydinkerrosta (7c) ohennetaan hallitusti useassa vaiheessa valokanavan eri portaiden muodostamiseksi, joissa kussakin ohennusvaiheessa käytetään hyväksi eri prosessikuviota (11; 11¹, 11², 11³), joiden reunat määräävät valokanavan portaiden reunojen sijainnin alustalla, jolloin tulokseksi saadaan valon etenemissuuntaan nähden poikkitasossa ainakin yhdeltä reunalta (5a, 5b; 60a, 60b; 80a, 80b; 130a) moniportainen (6; 6^{1a}, 6^{2a}, 6^{3a}; 6^{1b}, 6^{2b}, 6^{3b}; 121a, 122a) valokanavarakenne.

26. Patenttivaatimuksen 25 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että optinen valokanava (5) tai vastaava valokanavaelementti (101) valmistetaan sopivalle valmiille alustalle (7), kuten SOI-kiekolle tai vastaavalle.
- 5 27. Patenttivaatimuksen 25 tai 26 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että siinä käytetään yhtä yhteistä kovamaskikerrosta (9 ; 9^1 , 9^2) vähintään kahden eri prosessikuvion toteuttamiseksi alustan ydinkerrokseen (7c).

(57) Tiivistelmä

Keksinnön kohteena on optinen valokanava, joka on osa integroitua optista piiriä. Valokanava on järjestetty tasomaiselle alustalle ja siinä on valoa määrättyyn suuntaan, etenemissuuntaan, johtava ydinosa. Keksinnön mukaisesti optisen valokanavan (5) ydinosa on toteutettu yhdestä ja samasta materiaalista ja siten, että ydinosan poikkileikkaus valon etenemissuuntaan nähden poikittaisessa tasossa on ainakin yhdeltä reunalta (5a, 5b) moniportainen (6 ; 6^{1a} , 6^{2a} , 6^{3a} ; 6^{1b} , 6^{2b} , 6^{3b}). Keksinnön kohteena on myös valokanavaelementti. Keksinnön mukaisesti valokanavaelementin ydinosa on toteutettu yhdestä ja samasta materiaalista ja siten, että ydinosan poikkileikkaus valon etenemissuuntaan nähden poikittaisessa tasossa on ainakin yhdeltä reunalta moniportainen ja ylhäältä katsottuna kaareva, erityisesti kupera. Keksinnön kohteena on myös menetelmä optisen valokanavan tai vastaavan valokanavaelementin valmistamiseksi alustalle.

Fig. 3A

TEKNIKAN TASO

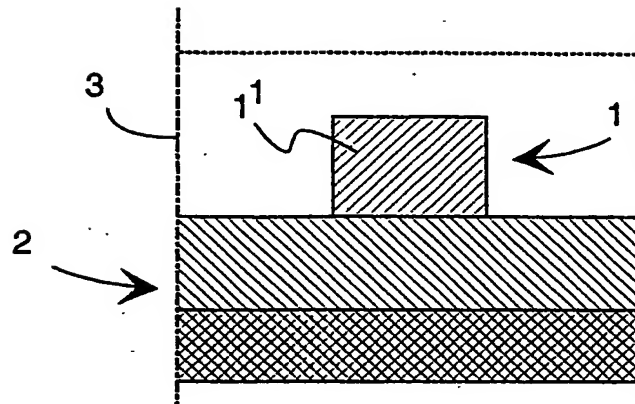


FIG. 1

TEKNIKAN TASO

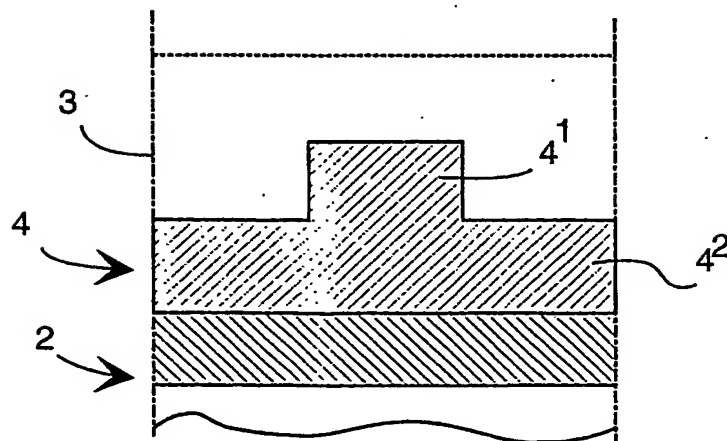


FIG. 2

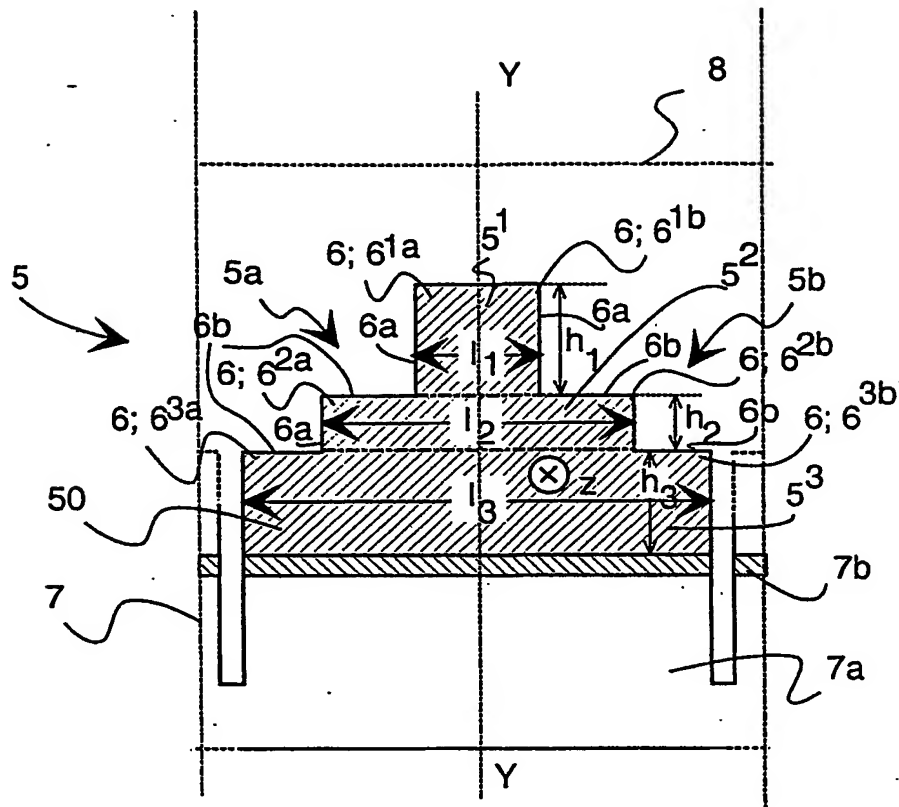


FIG. 3A

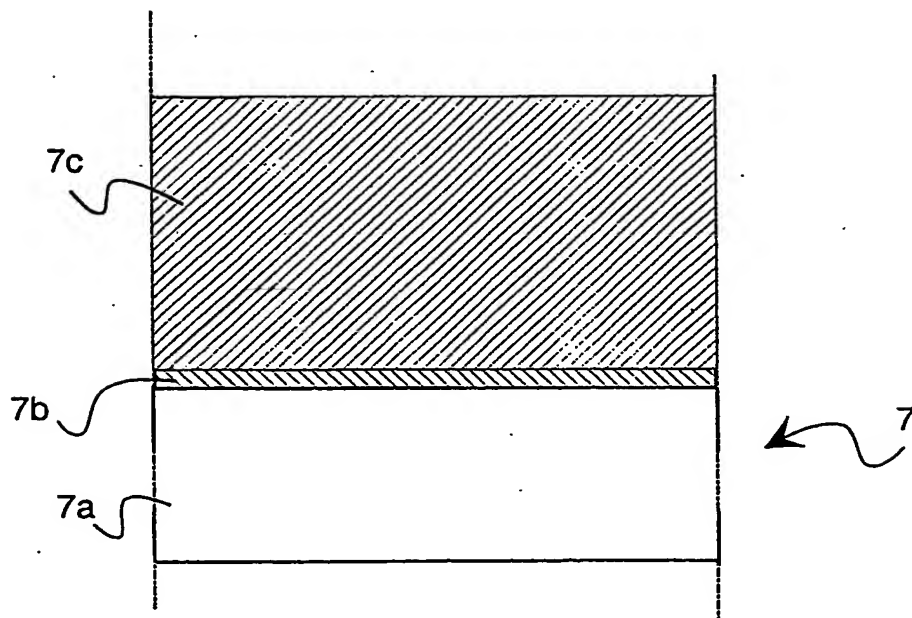


FIG. 3B

BEST AVAILABLE COPY

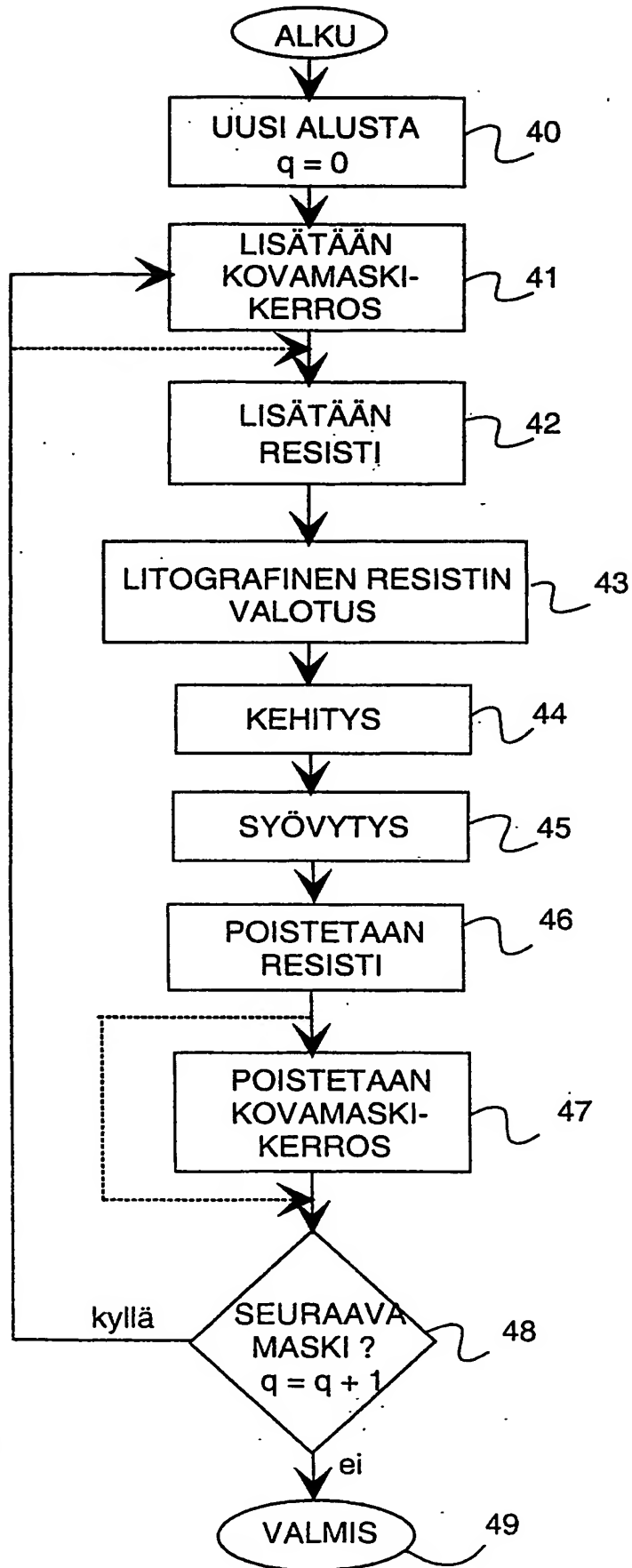


FIG. 4

L 4

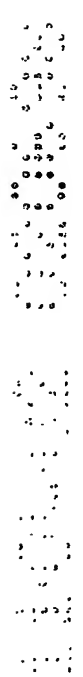
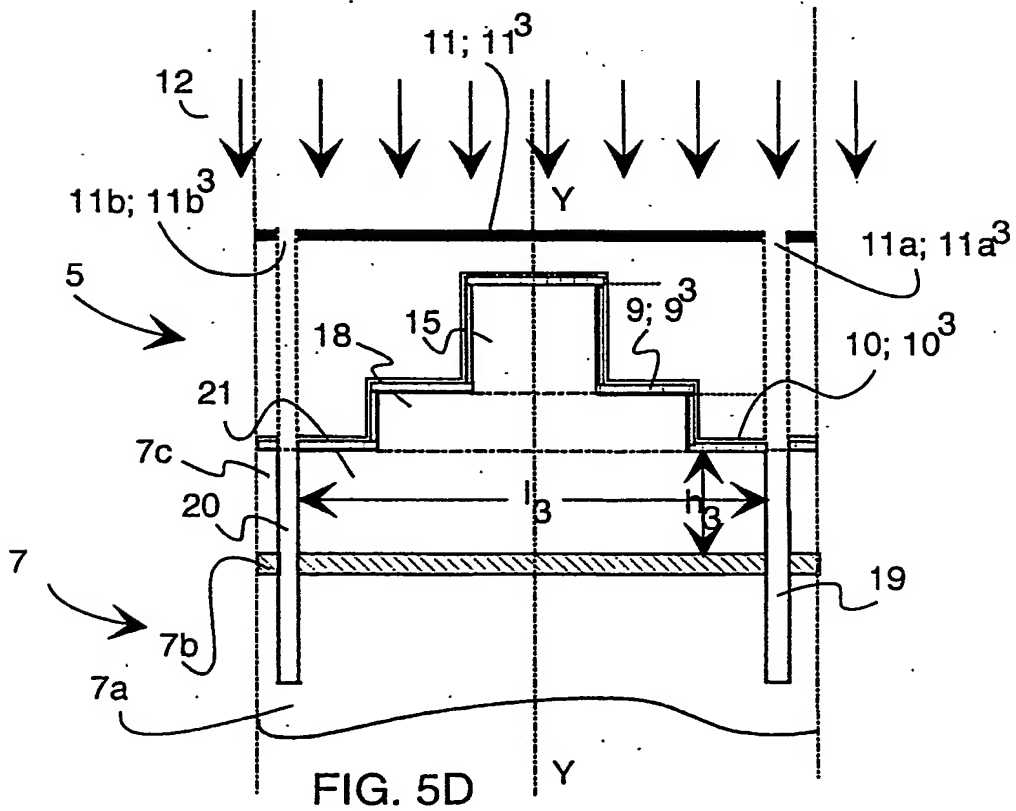
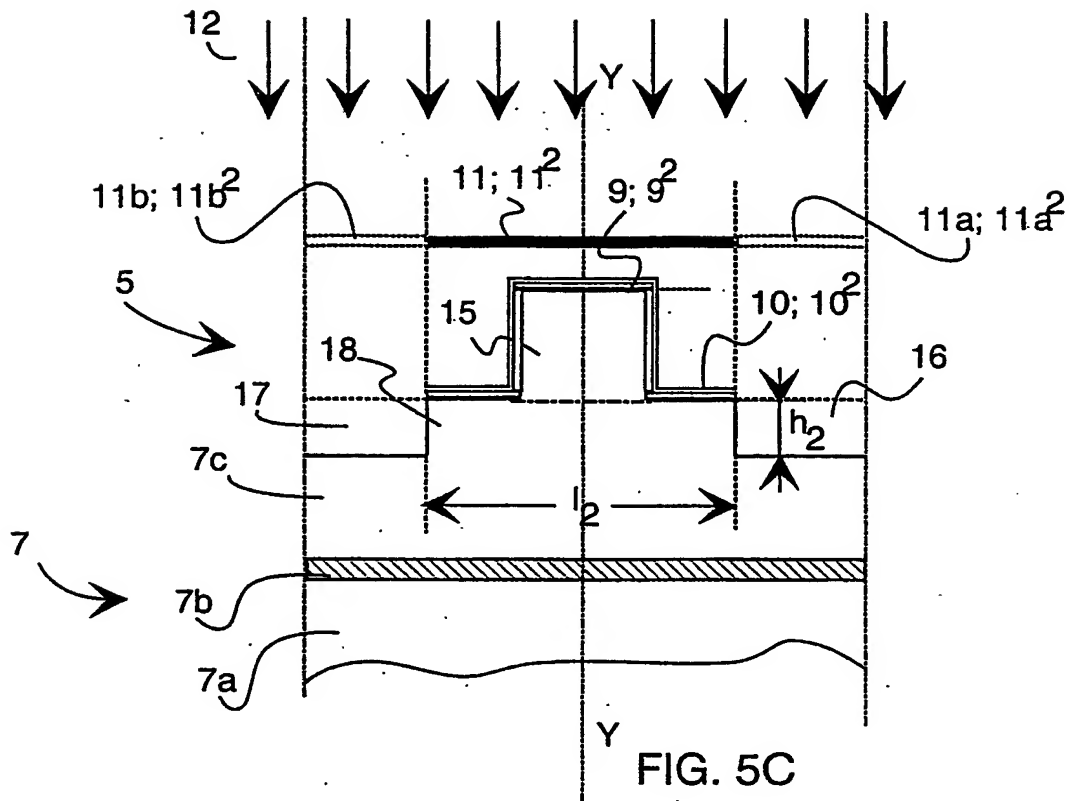


FIG. 5B



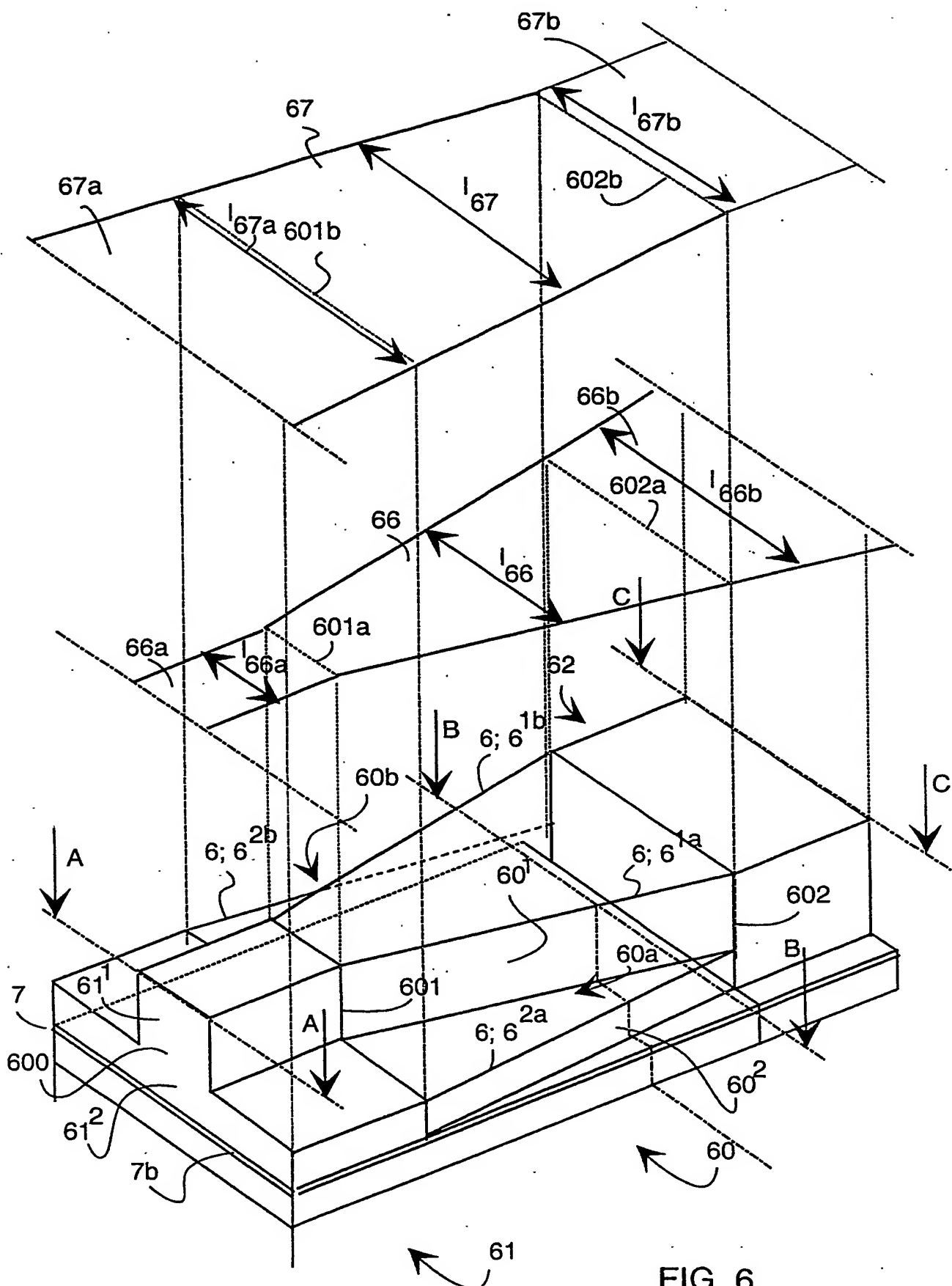


FIG. 6

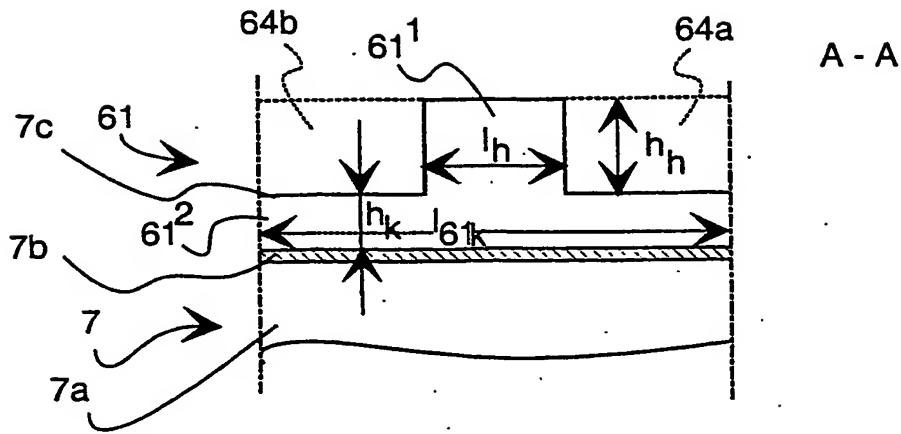


FIG. 7A

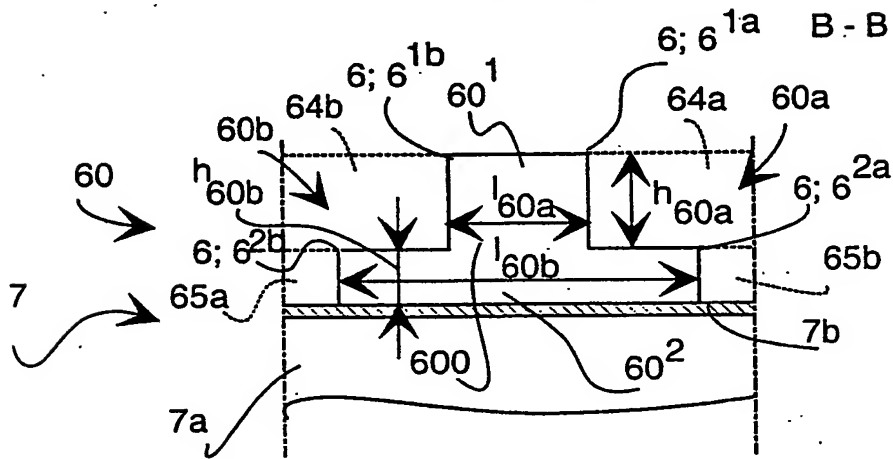


FIG. 7B

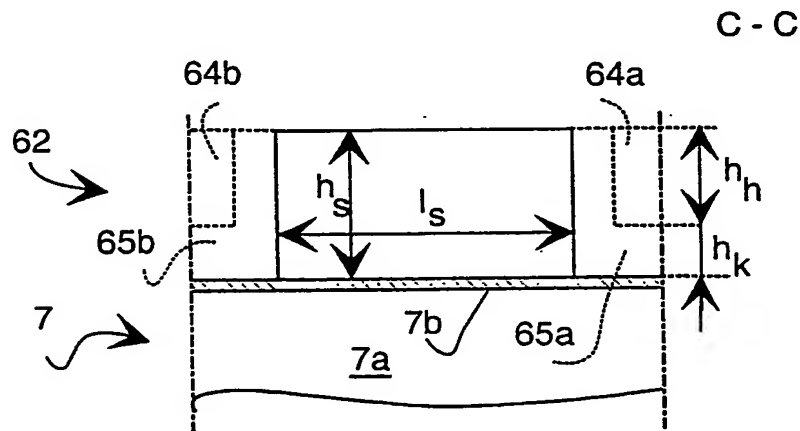


FIG. 7C

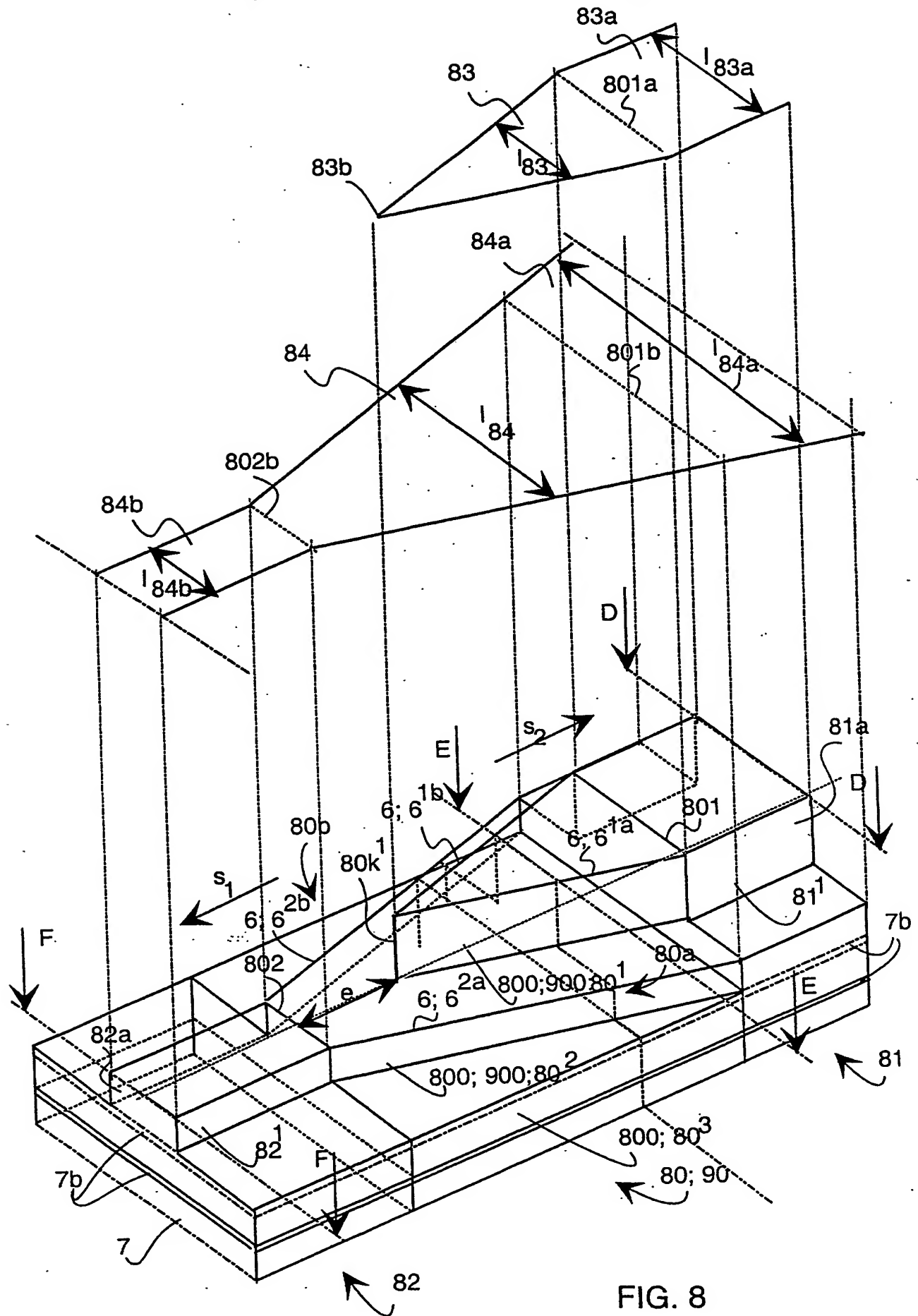


FIG. 8

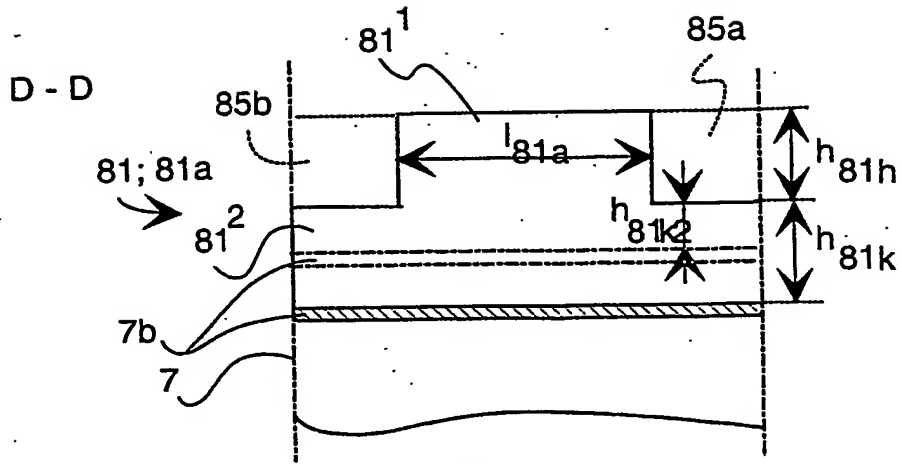


FIG. 9A

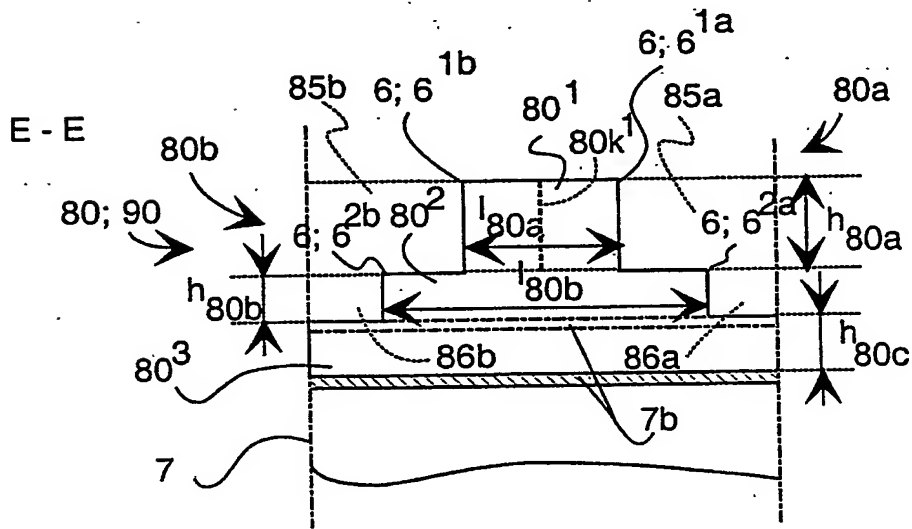


FIG. 9B

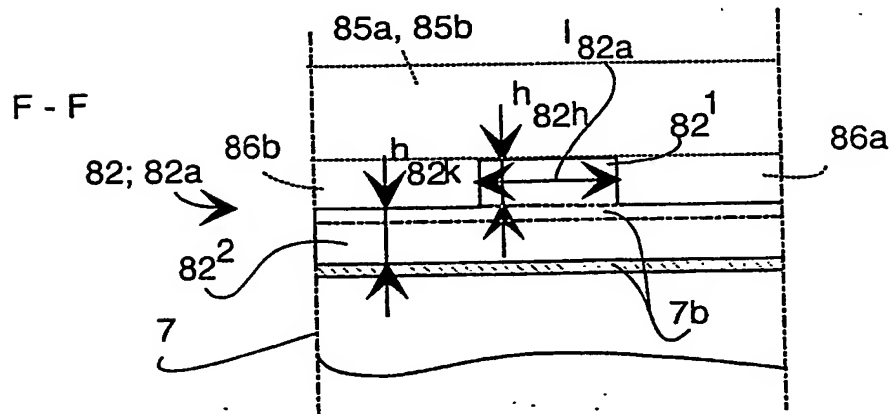


FIG. 9C

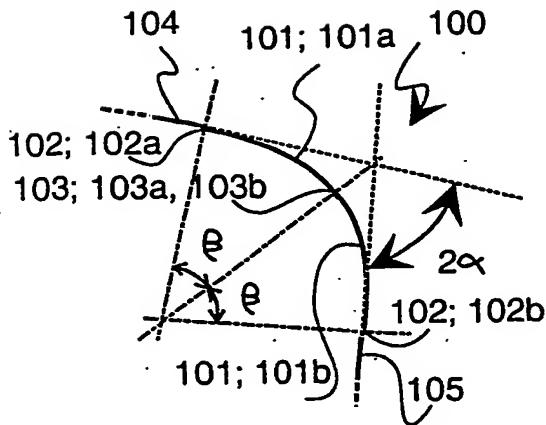


FIG. 10

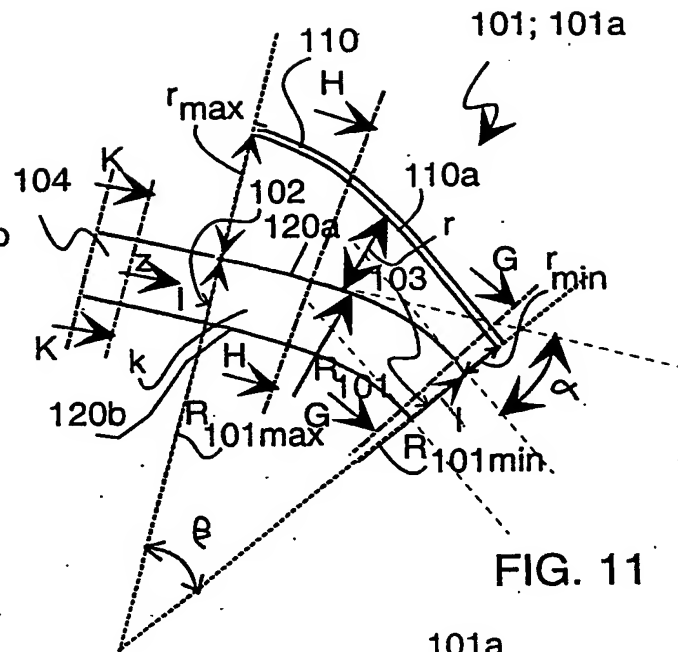


FIG. 11

FIG. 12A

G - G

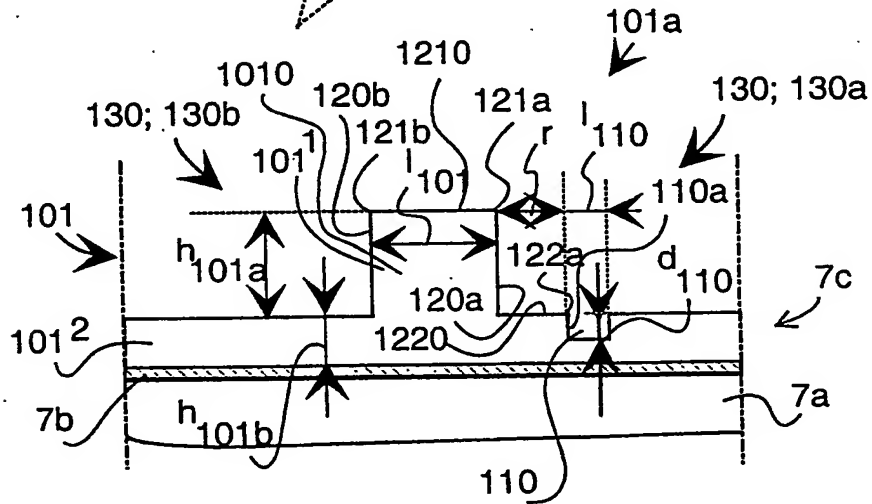


FIG. 12B

H - H

